

国际信息工程先进技术译丛

Springer

# 物联网RFID 多领域应用解决方案

## Unique Radio Innovation for the 21st Century

(澳) Damith C.Ranasinghe
(澳) Quan Z.Sheng 著
(美) Sherali Zeadally

唐朝伟 邵艳清 王恒 译





机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

## 本书特色

本书作者系澳大利亚阿德莱德大学Auto-ID实验室（对物联网研究的全球7个实验室之一）的学者，他们在RFID和物联网领域的研究起步早、成果丰硕，本书在他们的研究基础上，汇集了RFID应用领域中诸多世界知名专家最先进的研究成果，这些领域包括网络化RFID系统的安全、极低成本RFID标签的制造、可扩展的RFID应用全球信息架构和系统、RFID应用流程重组、RFID应用中的商业投资评估方法等。本书并不是系统讲述RFID原理的著作，而是重在RFID技术行业应用的低成本制造、安全、流程等技术问题分析，全面、系统地阐述了建立安全、可扩展和可靠的RFID网络所需的相关技术、体系结构和方法。

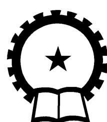


国际信息工程先进技术译丛

# 物联网 RFID 多领域应用解决方案


(澳) Damith C. Ranasinghe
(澳) Quan Z. Sheng 著
(美) Sherali Zeadally

唐朝伟 邵艳清 王恒 译


机 械 工 业 出 版 社

本书汇集了 RFID 应用领域中诸多世界知名专家最先进的研究成果，这些领域包括网络化 RFID 系统的安全、极低成本 RFID 标签的制造、可扩展的 RFID 应用全球信息架构和系统、RFID 数据管理、RFID 应用流程重组、RFID 应用中的商业投资评估方法等。此外，还全面、系统地阐述了建立安全、可扩展和可靠的 RFID 网络所需的相关技术、体系结构和方法，利用图表等形象、易理解的描述方式，结合丰富的行业应用范例，帮助读者较好地阅读理解本书内容。

本书涉及 RFID 应用领域的多个独立主题，内容丰富，应用案例详尽，可以作为相关专业研究生、本科生的阅读教材，也可作为相关专业科研工作者、行业主管部门的参考用书。

Transition from the English language edition：
*Unique Radio Innovation for the 21st Century* by Damith C. Ranasinghe, Quan Z. Sheng, Sherali Zeadally.
Copyright © 2011 Springer Berlin Heidelberg.
Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science + Business Media.
All rights reserved.
本书中文简体字版由 Springer 授权机械工业出版社独家出版。版权所有，侵权必究。
本书版权登记号：图字 01 – 2013 – 0184 号

**图书在版编目（CIP）数据**

物联网 RFID 多领域应用解决方案/（澳）拉纳辛哈（Ranasinghe，D. C.）等著；唐朝伟，邵艳清，王恒译. —北京：机械工业出版社，2013. 10
（国际信息工程先进技术译丛）
书名原文：Unique radio innovation for the 21st century
ISBN 978- 7- 111- 43935- 6

Ⅰ. ①物…　Ⅱ. ①拉…②唐…③邵…④王…　Ⅲ. ①无线电信号—射频—信号识别—应用　Ⅳ. ①TN911. 23

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 209764 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：闫洪庆　责任编辑：闫洪庆
版式设计：常天培　责任校对：杜雨霏
封面设计：赵颖喆　责任印制：乔　宇
北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）
2015 年 7 月第 1 版第 2 次印刷
169mm × 239mm · 23 印张 · 461 千字
标准书号：ISBN 978- 7- 111- 43935- 6
定价：89.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务　网络服务
社服务中心：(010)88361066　教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：(010)68326294　机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：(010)88379649　机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)88379203　**封面无防伪标均为盗版**

# 译 者 序

射频识别（Radio Frequency Identification，RFID）技术，是一种利用射频通信实现的非接触自动识别技术，是物联网应用的基础技术之一，也是21世纪最具发展前景和变革力的高新技术之一，现已成功应用到智能交通管理、物流管理、食品药品管理、智能制造、公共安全及信息服务、智能安防等领域。《2006—2020年国家信息化发展战略》和《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020)》指出，推动RFID技术、应用和产业链的发展和培育，可增强我国信息产业的国际竞争能力、加快建设创新型国家的步伐。《中国射频识别（RFID）技术政策白皮书》也明确指出，研究RFID技术、发展RFID产业对提升社会信息化水平、促进经济可持续发展、提高人民的生活质量、增进公共安全与国防安全等方面有着深远影响，具有战略性的重大意义。

随着技术的不断发展，RFID技术还可以与互联网、移动通信等技术相结合，实现全球范围内物品跟踪与信息共享，最终成为联通虚拟和现实世界的“物联网”。最近，国务院常务会议决定：打造惠及民生“宽带中国”，特别是建立公共信息服务平台，推进教育、医疗优质资源共享，普及应用居民健康卡，加快就业信息全国联网；推进金融IC卡在公共服务领域应用；在有条件的城市开展智慧城市试点示范建设；鼓励智能终端产品研发，通过创新供给引导消费；拓展新兴服务业态，开展物联网重大应用示范，大力发展电子商务。这些都将极大地推动RFID技术的大规模、多行业深入应用，推动物联网和智慧城市的发展。但是，目前我国的RFID产业发展还不成熟，主要表现在：起步晚，投入不足，缺乏自主创新的核心技术和标准；产业链发展不均衡，RFID器件和系统成本高，大规模应用受到严重制约。因此，积极引进国外的研究成果，了解RFID在各领域的应用状态和未来趋势，必将给我国产业界和学术界带来巨大的推动和发展。

本书作者系澳大利亚阿德莱德大学Auto－ID实验室（对物联网研究的全球7个实验室之一）的学者，他们在RFID和物联网领域的研究起步早、成果丰硕。本书在他们的研究基础上，汇集了RFID应用领域中诸多世界知名专家最先进的研究成果，这些领域包括网络化RFID系统的安全、极低成本RFID标签的制造、可扩展的RFID应用全球信息架构和系统、RFID应用流程重组、RFID应用中的商业投资评估方法等；本书并不是系统讲述RFID原理的著作，重在RFID技术行业应用的低成本制造、安全、流程等技术问题分析，全面、系统地阐述了建立安全、可扩展和可靠的RFID网络所需的相关技术、体系结构和方法。

本书主要由重庆大学唐朝伟教授、博士研究生邵艳清（重庆电子工程职业学院讲师）、博士研究生王恒合作完成，并得到了刘玲玲、肖敏、张希、何银锞等同志的许多帮助，在此深表感谢；同时，感谢原书作者 Michael Sheng 博士对译稿校正给予的支持和帮助。感谢原书出版商 Springer 出版社的鼎力支持，感谢机械工业出版社编辑以及相关的工作人员，在你们的精心呵护下，本书才能够顺利出版。

译者在翻译过程中力求忠于原著，其中许多专业术语尽量遵循其所在学科的标准译法。由于译者水平有限，译文中难免存在错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

**译　者**

# 原 书 前 言

近年来，RFID 技术经历了多次变革，从传统非接触接入卡技术转变为连接物理实体信息流与物流的技术。通信技术、中间件以及 Web 服务技术的进步极大地推动了 RFID 技术的发展和应用，RFID 已成为物联网的重要组成部分。未来的互联网将作为一个综合服务环境，在这个环境中，包括建筑物、商品在内的所有物理实体都是可读、可识别和可寻址的，甚至通过 Web 服务对其是可控的。对来自现实世界和虚拟世界的信息的连接和集成能力不仅影响着我们的生活方式，同时也带来巨大的 RFID 商业机遇，比如对老年人独立生活的支持、高效的供应链、防伪和提高环境监测等。许多组织机构正在计划或已经在其主要业务中采用 RFID 技术，充分利用 RFID 技术的高度自动化、高效的业务流程和库存的可视化优势。

RFID 数据管理、可扩展的信息系统、业务流程重组以及投资评估是 RFID 应用面临的重大技术挑战。本书汇集了 RFID 应用领域中诸多世界知名专家的最先进的研究成果，全面、系统地概述了建立安全、可扩展和可靠的 RFID 网络所需的相关技术、体系结构和方法。

本书包含 5 个部分。第 1 部分阐述了 RFID 技术的未来发展趋势，并系统地概述了在此过程中不容忽视的潜在的保密性和安全性问题。其余 4 个部分分别对 RFID 的数据管理、全球 RFID 信息架构及系统、创新的 RFID 应用以及相关的商业问题进行了探讨。

本书为从事 RFID 数据管理和 RFID 应用研发工作的研究人员、教育工作者和工程师提供了有价值的参考，同时也有助于研究生对该领域的深入学习和研究。此外，本书也适用于从事 RFID 应用工作，特别是从事设计、研发和部署大规模或开放式 RFID 网络系统的工作人员。本书对从事 RFID 系统开发、管理和监管 RFID 部署工作的 IT 管理人员也有很大帮助。我们希望通过本书的学习，能够促进和激发读者提出新的讨论和原创见解，进而促进 RFID 领域的发展。

我们非常感谢每一部分的作者对本书的突出贡献。同时感谢为本书的评审提供专业知识和支持、为作者提供宝贵意见的评审人员。非常荣幸与全球先进的研究团队一同工作，正是他们的帮助使得本书得以顺利完成。此外，我们还要感谢 Springer 出版社给予本书出版的机会。另外，特别感谢 Hermann Engesser 和 Dorothea Glaunsinger 在本书出版工作中给予的大力支持和帮助。

Damith C. Ranasinghe

Quan Z. Sheng

Sherali Zeadally

# 目　　录

译者序
原书前言

## 第 1 部分　RFID 的前景

第 1 章　下一代 RFID 技术 …… 2
1.1　引言 …… 2
1.2　低成本标签的制造 …… 3
1.3　有机印刷电子技术和硅油墨印刷电子技术的比较 …… 7
1.4　印刷半导体标准相关协议 …… 12
1.5　结论 …… 15
参考文献 …… 16
第 2 章　物联网的突破性进展 …… 18
2.1　企业范畴的物联网 …… 18
2.2　物联网的实现技术 …… 23
2.3　有机印刷电子技术 …… 24
2.4　结论 …… 27
参考文献 …… 28
第 3 章　网络化 RFID 系统面临的威胁 …… 29
3.1　引言 …… 29
3.2　RFID 边缘硬件层 …… 31
3.3　通信层 …… 36
3.4　后端平台 …… 42
3.5　尚未解决的问题及讨论 …… 45
参考文献 …… 45

## 第 2 部分　数据管理

第 4 章　基于时间和位置的 RFID 事件数据管理和处理 …… 50
4.1　引言 …… 50
4.2　基于时间和位置的 RFID 数据建模 …… 51

4.3　RFID 数据的查询 …… 57
4.4　基于 RFID 复杂事件的 RFID 应用建模 …… 60
4.5　基于规则的 RFID 事件数据处理 …… 64
4.6　相关工作 …… 66
4.7　结论 …… 67
参考文献 …… 67
**第 5 章　RFID 数据流的事件管理：快速消费品供应链管理** …… 69
5.1　引言 …… 69
5.2　FMCG 案例研究 …… 70
5.3　事件管理原则 …… 72
5.4　RFID 数据管理要求 …… 73
5.5　RFID 数据流建模 …… 80
5.6　结论 …… 85
参考文献 …… 86
**第 6 章　基于语义的 RFID 数据管理** …… 88
6.1　引言 …… 88
6.2　激励情景 …… 90
6.3　相关研究工作 …… 91
6.4　预备知识 …… 93
6.5　框架和方法 …… 99
6.6　实验评估 …… 105
6.7　结论 …… 111
参考文献 …… 112
**第 7 章　RFID 数据清洗在车间的应用** …… 115
7.1　引言 …… 115
7.2　应用情景和问题的研究背景 …… 116
7.3　相关研究工作 …… 118
7.4　数据清洗方法 …… 119
7.5　实验 …… 123
7.6　结论 …… 129
参考文献 …… 130

## 第 3 部分　全球信息架构和系统

**第 8 章　自主控制与物联网：增强物流网络的鲁棒性、可扩展性和灵活性** …… 132
8.1　引言 …… 132

8. 2　最新技术分析和技术背景 …… 133
8. 3　自主物流对象与物联网的整合 …… 138
8. 4　应用领域 …… 142
8. 5　结论和展望 …… 144
参考文献 …… 145
**第 9 章　EPCglobal 架构中安全发现服务设计** …… 147
9. 1　引言 …… 147
9. 2　发现服务的潜在模式分析 …… 148
9. 3　发现服务设计 …… 152
9. 4　安全问题 …… 156
9. 5　结论 …… 160
参考文献 …… 161
**第 10 章　物联网背景下发现服务体系结构的评估** …… 163
10. 1　引言 …… 163
10. 2　物联网背景下的发现服务 …… 164
10. 3　评估发现服务 …… 168
10. 4　仿真设计 …… 168
10. 5　实验结果 …… 171
10. 6　结论和展望 …… 172
附录 …… 172
参考文献 …… 180
**第 11 章　RFID 增强的泛在知识库：架构和途径** …… 182
11. 1　引言 …… 182
11. 2　研究目的 …… 183
11. 3　相关研究工作 …… 184
11. 4　理论架构 …… 186
11. 5　架构细节 …… 188
11. 6　案例研究 …… 192
11. 7　试验 …… 199
11. 8　结论 …… 202
参考文献 …… 202
**第 12 章　RFID 中间件系统：对比分析** …… 205
12. 1　RFID 应用的中间件解决方案 …… 205
12. 2　通用 RFID 中间件解决方案 …… 208
12. 3　基于事件的 RFID 中间件 …… 211
12. 4　RFID 数据的动态资源管理 …… 213

12.5　用于目标定位的 RFID 基础结构 …… 215
12.6　商业 RFID 中间件解决方案 …… 217
12.7　分析 …… 217
12.8　开放性问题 …… 219
12.9　结论 …… 220
参考文献 …… 220

## 第 4 部分　创新应用

**第 13 章　RFID 在服装零售业的应用：Galeria Kaufhof 案例研究** …… 224
13.1　引言 …… 224
13.2　基本原理 …… 225
13.3　案例背景 …… 227
13.4　RFID 的应用 …… 231
13.5　结论 …… 241
参考文献 …… 242
**第 14 章　RFID 技术在纺织和服装产业中的应用潜力：机遇、需求和挑战** …… 246
14.1　引言 …… 246
14.2　纺织和服装产业供应网络的结构、流程和需求 …… 247
14.3　纺织和服装产业中采用 RFID 技术面临的机遇与问题 …… 251
14.4　工业界的补充：工业项目带来的经验 …… 256
14.5　结论 …… 260
参考文献 …… 261
**第 15 章　新防伪安全模式：指导方针和实施路线** …… 263
15.1　引言 …… 263
15.2　RFID 安全的现状 …… 264
15.3　管理者安全须知 …… 265
15.4　安全防伪的模式转变 …… 267
15.5　RFID 安全产品认证路线 …… 270
15.6　供应链产品认证的位置 …… 273
15.7　结论 …… 278
参考文献 …… 278
**第 16 章　绿色物流管理** …… 281
16.1　绿色物流和 RFID …… 281
16.2　面向商业环境的绿色物流 …… 282
16.3　试点案例研究：基于 RFID 的售后服务过程 …… 287

16.4 结论 …… 291
参考文献 …… 291
**第 17 章 应用于计算环境的面向对象的 RFID 业务流程建模** …… 292
17.1 引言 …… 292
17.2 发展现状 …… 293
17.3 业务流程建模方法在 RFID 中的应用 …… 294
17.4 RFID 应用环境中两个业务流程的建模模型 …… 296
17.5 案例研究 …… 300
17.6 结论 …… 305
参考文献 …… 306

## 第 5 部分 商业与投资

**第 18 章 法律监管与消费者：RFID 产业的前景** …… 310
18.1 引言 …… 310
18.2 行业访谈 …… 311
18.3 调查研究方法 …… 314
18.4 调查结果讨论 …… 317
18.5 结论 …… 327
参考文献 …… 328
**第 19 章 RFID 技术应用的投资评估：发展前景** …… 330
19.1 引言 …… 330
19.2 研究背景 …… 331
19.3 RFID 投资评估的进化方法 …… 334
19.4 在零售业中的应用 …… 335
19.5 讨论 …… 342
19.6 结论 …… 343
附录 …… 343
参考文献 …… 345
**第 20 章 RFID 技术对库存系统的影响分析** …… 347
20.1 引言 …… 347
20.2 库存误差的技术发展水平 …… 348
20.3 库存误差模型：RFID 技术的影响 …… 351
20.4 结论 …… 356
参考文献 …… 357

# 第 1 部分　RFID 的前景

# 第 1 章　下一代 RFID 技术

Peter H. Cole, Leigh H. Turner, Zhonghao Hu, Damith C. Ranasinghe

**摘要**：下一代 RFID 技术的发展将受印刷半导体的生产和制造技术，以及生产 RFID 标签所采用的印刷半导体材料的影响。本章主要介绍了印刷半导体技术、RFID 标签制造技术及印刷标签协议。

## 1.1　引言

本章主要介绍 RFID 技术的未来发展，主要包括 RFID 制造、技术、协议和应用等方面的内容。

未来的 RFID 技术涉及上述一个或多个领域的发展。通常某个领域的新进展需要以其他领域的发展为基础。印刷电子作为一项新的技术，将对未来产生重大影响。本章主要论述印刷电子技术对制造和其他三个相关领域的影响。

传统的硅集成电路制造工艺复杂、成本较高、天线互联难度较大。而高端射频识别标签要求在可读距离、存储功能、数据容量、标签防冲突决策速度和整体复杂度等方面都具有极好的运营表现。传统的硅集成电路逐步被高端射频识别标签技术取代。然而，在供应链的细分市场以及其他需求应用领域中，基于传统集成电路的标签仍占有绝对优势地位。

EPCglobal UHF 与 HF Gen2（http：//www. epcglobalinc. org/standards/）在供应链中仍然使用传统、复杂而高性能的单晶 IC 标签。印刷半导体主要适用于低、中端应用，在这些应用中，标签成本是厂商考虑的主要因素，他们需要在标签成本与标签性能之间做出明智的权衡。因此，印刷半导体标签不大可能与单晶 IC 标签形成竞争，挤占其应用领域。

全印刷 RFID 的制造成本可能是传统硅芯片标签成本的 1/10，甚至更少（2010 年关注的主要问题）。印刷标签的高交易量市场目标包括：消费品的品牌保护和认证、一次性大批量公共票务卡、消费零售品促销和嵌入式产品智能化等。这些应用将利用普及的低成本阅读器、NFC 技术和具有 NFC 功能的手机及 3G 网络。印刷 RFID 实现了全印刷半导体技术的功能性与终端用户需求之间的很好契合，给印刷 RFID 制造商带来巨大市场应用空间，这是传统集成电路标签技术永远不可能做到的。然而，简单、低成本的全印刷 RFID 标签必须实现成本、复杂性和功能性之间

的均衡。

另一种商业化印刷半导体产业着眼于最大程度降低 RF 标签成本，寻求更大规模的应用市场。由于 RFID 产业迄今为止还不能真正意义上满足终端用户的低成本需求，传统单晶 IC 的设计和制造由于受到成本限制，导致该应用未能真正普及。

印刷电子试图打破上述局面。印刷电子作为迅速发展的新兴领域，是印刷和电子技术相结合的低成本半导体制造产业。与基于传统单晶集成电路芯片的制造相比，印刷电子被认为能够大幅降低制造成本，因此，近年来社会上出现了印刷电子热的现象。当生产流程和制造逐步扩大到大批量生产时，通过把每个标签制造成本降到低于 1 美分的价格，印刷电子将被视作解决限制 RFID 标签广泛应用的高成本问题的可行性方案。当 RFID 标签销售量达到数以十亿计时，印刷 RFID 制造商计划以每个标签几美分的价格进行出售；当 RFID 标签的销售量更大时，每个标签的价格将低于 1 美分。

我们注意到，印刷电子拉开了实现集成电子物品防盗系统（EAS）标签发展的序幕，这种标签是带有附加电子产品代码（EPC）或类似产品 ID 功能的标签。基于高 $Q$ 值印刷 MOS 电容元件的增强型 8.2MHz EAS 标签证明，与现有传统的 EAS 标签不同，当它在删除现有的零售商店 EAS 标签时，不会出现 Lazarus 效应，即电容介质层的自愈可使得标签恢复功能。

1.2 节将讨论 RFID 低成本制造技术。1.3 节将对有机印刷技术和硅油墨印刷技术进行比较。1.4 节将对印刷半导体标准和单晶半导体标准进行比较。最后，对 21 世纪具有无限前景的 RFID 技术进行总结。

## 1.2　低成本标签的制造

在传统电路标签批量生产的今天，本节将从传统 IC 标签成本中的大量装配和辅助设备成本作为切入点进行介绍。例如，IC 芯片元件的成本微乎其微，但芯片附件和天线制造成本仍会使整个标签成本居高不下。另外，标签基层材料成本也是标签成本的重要组成部分，尤其是大尺寸标签。在商业化电路生产成本显著降低之前，未来低成本制造技术和工艺需要解决这些限制因素。

目前，标签天线的制造使用印刷导电型油墨以及电镀金属材料等以节省添加剂，这种标签天线约占有不足 20% 的市场。银油墨的价格昂贵，新研制的纳米粒子油墨也许能使成本更低。印刷标签的天线和经过电镀处理的镀层导体可通过削减铜或铝的镀层薄片的用量来降低成本，这种方法是目前较为常见的 RFID 天线制造方法，因此，此类天线的市场份额预计将会增长。随着材料科学和纳米粒子技术的进步，油墨设计和印刷工艺、功能电路和天线都可利用传导性半导体聚合油墨印

刷，这意味着目前整个 RFID 标签均可被印刷。

与印刷电子 RFID 电路不同，基于传统 CMOS IC 标签供应商提供特征完整的 EPCglobal UHF Ⅰ类第 2 代类型的标签（在数据安全和高性能防冲突协议等关键领域）。该标签通过一个小的硅片接近对倒装芯片印模、带状或插入式电路附件的高速机械处理的限制。然而，人们认可并接受对于传统非印刷 RFID 标签的系统制造成本的限度。目前多数主流标签制造都是在接近成本限度条件下运营的；同时，在具有规模化容量增加方面有实践策略的大型制造商也响应市场需求。但不幸的是，成本并没有随着生产规模的扩大而下降，这是印刷电子产品的独特特性。

忽略标签电子电路部分的实现方式，制造商迄今未能找到适当的方法解决全部或系统标签制造成本问题。因此，只是把注意力集中在标签经济效益方面而排斥其他因素的方式是错误的。

本节引入新的术语 PIC（Printed IC），即印刷集成电路。图 1-1 所示为印刷电子公司 Kovio 的 PIC。

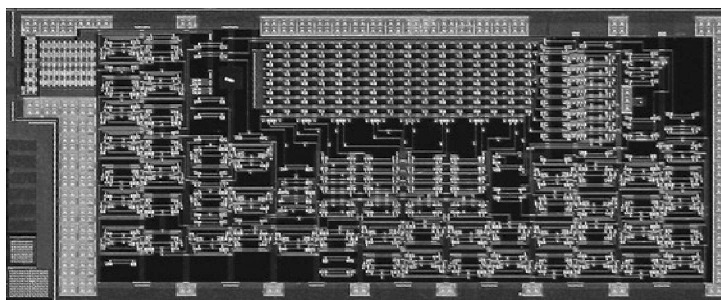


图 1-1　集成了约 1000 个 TFT 元件的 PIC

在每个末端的电气接口垫上都设计了一个细长的设备，该设备被认为是高频天线线圈的交叉桥梁。这种配置避免了额外的处理步骤，节省了线圈匝绝缘层的印刷成本，通过电路垫实现传导银浆导体与天线的连接。

未来 RFID 天线制造业可能会大规模采用宽带连续卷轴式的自适应处理方式，该方式基于闪存的高速电镀沉积技术，将铜电镀到聚合塑料或将基底材料涂盖于一个直接的数字图案的种子层的顶部。这种低成本的天线实现技术已沿用多年，但是由于迄今 RFID 标签的全球需求受到制约，制造量还没有达到能使该工艺获得较大经济效益以及为行业提供可信服投资回报所需的量值，所以该技术还没有得到广泛的应用。

近期开发的另一项非常有前景的天线批量生产技术是基于宽带卷轴式高速激光消融技术，利用低成本的铝箔制造高频和特高频天线模型。虽然下一代 RFID 技术不是一种添加处理技术，但这种金属复合箔在消费品包装工业中得到了广泛的使用，同时，它还是制造天线的廉价材料。

图 1-2 显示了基于热固定性环氧倒装芯片 IC 凸起垫或带状连接的各向异性导

电胶膜（ACF）。这种连接方式对降低当今主流标签制造业生产成本起到了重要作用。未来的低成本电路连接技术可能实现将天线金属直接电镀到 IC 或者 PIC 垫上。通过使用基片压花和芯片安装机器学技术，ACF 技术已被证实是商业可行的。随着未来对大批量低成本标签的需求，这种新方法将可能带来较好的商业效益。

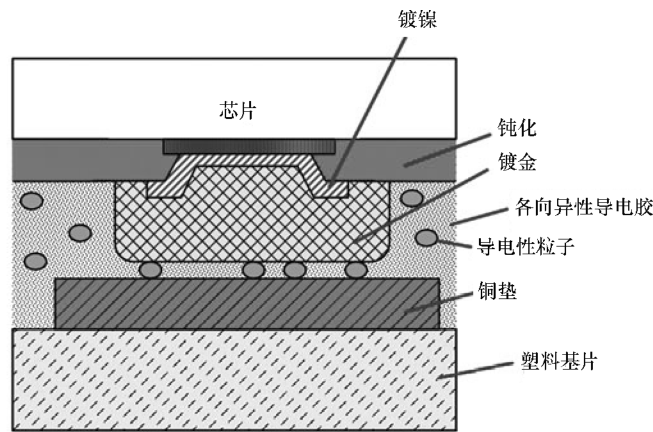



图 1-2　各向异性导电胶膜（ACF）电路附件结构

综上所述，制造商对使用各种印刷工艺生产电子设备已产生浓厚兴趣。大规模生产的电子系统相比传统的基于单晶集成电路技术，本质上实现了较低的制造成本。该印刷技术有望实现使用灵活性高的低成本基底材料（如纸张、塑料、金属箔等）来生产逻辑和模拟电路元件。相对于现代 CMOS 半导体制造技术，半导体电路印刷技术具有工艺程序精简、原料成本低、资本投入少等优势，因此它更具备降低制造成本的潜力。表 1-1 所示为传统电子技术与印刷电子技术在制造过程和成本方面的比较。

**表 1-1　传统电子技术和印刷电子技术的比较**

| | 传统电子技术 | 印刷电子技术 |
|---|---|---|
| 工厂投资（成本支出） | 房屋、工厂设备（花费较高） | 无特殊要求 |
| 加工 | 基于光影蚀刻加工（处理步骤较为复杂） | 添加剂加工（处理步骤简单，成本较低） |
| 基片 | 硅晶片（原材料成本较高） | 塑料、纸张或金属箔（原材料成本较低） |

印刷电子被认为是一种解决 RFID 行业标签成本过高问题的可行方式，它可将每个标签成本降低到 1 美分。但是，无论是从当前还是从长远来看，印刷电子技术的性能（工作频率）和集成度（可集成的晶体管数量）都不如传统电子技术。因此，只

有达到了可接受的性能和紧密性，才能实现印刷型电子产品的低成本优势。技术性能和集成度这两个特征与印刷技术和电子技术应用的结合程度也是紧密相关的。

电子电路的每个晶体管的性能，以及电子电路的复杂度（晶体管的数目）决定了该电子电路的功能和性能。为了提高每个晶体管的性能，应最大限度地提高晶体管中载流子迁移率，缩短晶体管漏极和源极之间的通道长度。对有机印刷电子而言，其迁移率与印刷油墨的黏性无关，印刷电子可达到的通道长度是由采用的印刷技术分辨率定义的。

此外，印刷电子的分辨率和最小特征尺寸也决定了电路的复杂性。为了增加电路功能的复杂性，我们可以尽可能多地将印刷晶体管集成在电路中，但是如果分辨率太低，那么每个晶体管和复杂印刷电路的尺寸都将因过大而在许多应用中无法实现。因此，这是一个应用问题。

此外，Subramanian 认为当前的有机印刷电子的生产能力较低，从而导致了较高的印刷晶体管成本。由于目前印刷晶体管仍然存在大尺寸、高成本问题，印刷技术仍然是制造功能完善、尺寸合理、成本低廉的 RFID 标签的关键问题之一。因此，如何将印刷技术进一步用于印刷电子系统制造值得深入研究。

目前用于电子制造的印刷技术主要有 3 种，即①丝网印刷、②喷墨印刷、③凹版印刷。

上述印刷技术的生产能力、分辨率、印刷材料的黏度特征见表 1-2。

**表 1-2　目前用于电子制造的印刷技术**

| | 丝网印刷 | 喷墨印刷 | 凹版印刷 |
|---|---|---|---|
| 油墨黏度要求 | 高（>1000cP） | 低（1~30cP） | 中等（40~200cP） |
| 生产能力 | 快 | 慢 | 快 |
| 分辨率 | 50μm（商业使用）<br>10μm（实验室使用） | <20μm | <20μm（商业使用） |

由表 1-2 可知，在如今的丝网印刷技术中，可达的最好分辨率低于 10μm。因此，高速丝网印刷技术实现了约 10μm 的最小通道长度，与基于光影蚀刻的单晶电子技术相比，要低其几个数量级。但是，低分辨率的印刷电子将导致性能（迁移率和电流容量）和集成度的降低。此外，在材料流变能力和黏度方面，由于丝网印刷技术，使用了基片的网版模型对油墨进行加压，因此要求油墨具有较高的黏度以防止过度扩散和渗透。通过在油墨中混合聚合物黏结剂可以提高油墨黏性，却降低了印刷晶体管的迁移率和导体的导电性。

如表 1-2 所示，生产能力是丝网印刷制造技术的优势。相反，生产能力较低的喷墨印刷技术则满足油墨黏度较低的要求。也正是因为油墨黏度较低，喷墨印刷技术也存在着干燥现象、表层变形和线性形态变化等问题。这些因素都会影响薄膜沉

积质量，如果严格控制这些因素又会降低高产量的 TFT 设备的生产能力。然而，喷墨印刷技术仍被广泛应用于有机印刷电子和硅油墨印刷电子。硅油墨半导体开发商们正将高性能的自定义喷墨印刷头分配系统应用于纳米粒子规划和基于溶剂的油墨技术中。

基于喷墨头技术的 MEMS 正致力于合作研究和联合产品开发工作，以解决新兴印刷半导体产业存在的分辨率和生产量需求的问题。诸如 Kovio 公司（硅油墨开发商）使用高分辨率的喷墨印刷的纳米晶体组合物以形成 TFT 半导体通道，源漏极和栅极，导体或者氧化物电解质的特性，从而制造出 10μm 规格的高载流子迁移率的 CMOS 印刷集成电路（PIC）。其中纳米晶体组合物含有前驱体硅，或者锗、金属和/或电介质。

每块芯片上都集成了数千个 TFT 晶体管，为了追求这些晶体管的廉价印刷成本，要求具备快速存放高性能硅油墨的能力。印刷电子将“每秒在单个印刷点上能够放置材料的多少”作为度量指标参数，而不是每平方厘米面积上集成的晶体管的数量。一旦实现硅油墨印刷技术的基本性能，接下来就要提高印刷速度。未来研究的目标和传统单晶体产业发展的主要动力是廉价存放更多的材料，而不是得到多么小的硅片。

凹版印刷可以简单地在两滚轴之间进行。一种是在被雕刻图案的模板上注入油墨，另一种是在平滑的模板上进行印刷。当基片通过两滚轴时，图案便印刷在了基片上。这种印刷技术具有较强的生产能力，且对油墨的黏度要求较低，因此引起了人们的广泛关注。但是该技术的印刷缺损率较高，直接影响了电子电路产量。据悉，这种印刷技术至今还未在电子制造中使用。

如上分析，得出以下两点结论：

1）印刷电子的分辨率比传统电子低几个数量级。这个差距使得印刷电路不可能在短期内使印刷电子在一个很微小的区域内具备复杂的功能。印刷 RFID 标签的低功能复杂性对 1.4 节中讨论的现有标准和协议具有重要的影响。

2）众多研究人员致力于印刷电子技术的研究，尤其是印刷 RFID 标签技术。其原因在于该技术满足功能复杂度，又能够降低标签成本。然而，后续研究和印刷技术也制约着上述能力的实现。

除了印刷技术，印刷电子中使用的半导体材料技术（有机印刷电子和硅油墨印刷电子）对于实现适当功能复杂性和低成本也起着至关重要的作用。因此，1.3 节将对印刷电子的这两种技术进行研究。

## 1.3　有机印刷电子技术和硅油墨印刷电子技术的比较

本节主要对有机印刷电子技术、硅油墨印刷电子技术和基于单晶材料的传统集

成电子电路技术进行比较。

有机和硅油墨印刷电子技术在制造上均采用印刷技术，区别在于它们的印刷材料不同，即油墨不同。本节将讨论这两种不同印刷电子技术的发展、应用以及优缺点。

### 1.3.1 有机印刷电子技术

20 世纪 70 年代以来，某些有机材料因其导电性和半导电性引起了人们的关注。此时，研究员 Alan J. Heeger，Alan G. MacDiarmid 和 Hideki Shirakawa 引领该领域的研究并获得了 2000 年的诺贝尔化学奖。

基于一些有机材料对溶液处理分子或混合聚合物的方案仍在研究，同时，这些材料也逐渐向多个应用领域渗透。首先，有机半导体材料可用于制造发光二极管，这些发光二极管可被加工成 OLED（有机发光二极管）显示器。OLED 显示器大多是将内容显示在玻璃上，而非印刷的。相反地，这些材料还可以吸收光线并把光能转化为热能，因此常被用在有机光伏电池（OPV）中。其次，有机材料还可以用于生产各种传感器。最后，有机半导体材料可用于制作薄膜晶体管（TFT），TFT 有能力执行逻辑电路和模拟电路的运行。

作为有机印刷标签的基础器件，这些印刷的有机薄膜晶体管（OTFT）能够被集成到 RFID 电路中。下面我们讨论用于生产 RFID 标签的有机印刷电子技术的优缺点及其发展现状。

由 1.2 节介绍可知，有机印刷电子技术具有低生产成本的优势。除此之外，与硅油墨印刷电子技术相比，它还具有以下优点：

首先，印刷的有机标签对环境无污染。基于五苯聚合物塑料的半导体材料被废弃后极易被分解。这是有机标签的优点，但是也被认为是它的一个缺点。

其次，制造过程允许低温（低于 150℃）处理加工。这使得有机半导体能够与柔性聚合物塑料基板相兼容，例如聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）或聚萘二甲酸乙二醇酯（PEN），这些材料不耐高温，成本较低。

但一些严重的局限性和弊端阻碍了有机印刷标签的应用。

首先，印刷的有机晶体管与印刷的硅晶体管相比，其电荷载流子迁移率较低，与传统的单晶晶体管相比，其载流子迁移率更低。如前所述，迁移率是衡量晶体管性能的基本材料参数，它被定义为漂移电流密度与内部电场之比。迁移率之所以是衡量电子电路的重要参数，有以下两个原因。

1）影响整流器的性能。

2）决定晶体管的转换速度，因此，最大时钟频率可以由标签电子电路实现。

大多数有机电子设备都采用 p 型积聚模。这种印刷晶体管的迁移率只有 $1cm^2/Vs$。当在室温（300K）情况下，在传统的半导体电子中晶体硅电子迁移率为

1350cm²/Vs，空穴迁移率约为 480cm²/Vs。然而，同等条件下，n 型印刷的硅油墨晶体管最好的迁移率可以达到约 200cm²/Vs。

“如何使 n 型积聚模的有机印刷晶体管获得高迁移率”这一课题吸引了研究人员对该领域的研究。然而，大多数有机半导体的电子亲和力较低（3.5～4eV）。这将使得常用二氧化硅有机半导体分界面的电子积累层的制定变得困难。因此，栅极介电层的选择变得至关重要。低迁移率致使有机印刷标签只能工作在低频（125kHz）和高频（13.56MHz），并且在标签返回链路上只具备很低的数据传输速率。基于印刷有机标签的整流器最高可实现的频率约为 50MHz。据了解，目前还没有工作在特高频段的有机印刷标签。

此外，印刷有机电子技术的优点之一是有机材料对环境无污染，所有的这些材料都会被自然吸收。因此，基于 p 型和 n 型的有机印刷器件对空气中的氧气和水分非常敏感，其中 n 型有机混合物最为显著。暴露在空气中的 p 型有机印刷器件的工作寿命只有几个月。未密封的 n 型印刷设备的工作寿命只有几小时或者几天。有机半导体寿命短、参数和性能稳定性变差等问题。许多研究致力于延长有机器件的寿命。另一方面，我们可以利用外露的 TFT 通道开发这种敏锐的晶体管对周围环境中的气体和气态物质的灵敏性，为未来的智能标签实现低成本地集成有机传感器元件。这些应用包括食品腐烂检测以及新的生物传感器。

与传统的单晶集成电路一样，印刷的有机晶体管标签也面临着低成本市场的封装和包装的困难。

多数企业加大人力和物力致力于有机印刷 RFID 标签的应用。处于该领域领先地位的 Poly IC 公司于 2007 年推出了第一个有机印刷 RFID 标签。该标签通过一个简单的电路便可工作在 13.56MHz 的高频波段，并具有较低功能性。该标签只能用于品牌保护和票务。在高频段的标签获得成功之前已经实现低频段的有机印刷标签。然而，由于低频天线元件尺寸比高频天线元件的大，所以低频段标签的应用并不广泛。飞利浦公司称其已成功研制基于有机印刷电子的集成了 1940 个晶体管的 64 位标签。标签的数据传输速率为 150bit/s。下一节我们将得知，这一速率远远低于使用硅油墨 CMOS 技术的数据传输速率，其中数据通信率为 106kbit/s 的标签也是可以实现的。

由于 OTFT 设备的高阈值电压工作特性，有机半导体标签需工作在 14V 电源电压或更高的供电系统。这种特点将基于高能耗有机 TFT 的标签归类为感应耦合低频和高频系统，因此，标签可满足读写器系统对高强度能量场的要求。

TFT 设备的关键性电气参数有：门限电压 $V_{GS}$、击穿电压 $V_{DS}$、泄漏电流的漂移时间等。这些电气参数将导致在进行有机电路设计和实现可预测、可重复的操作时出现重大问题。这些问题也许不影响少数实验室中手工选择的原型的研究，但是不利于大规模商业化生产高收益、高可靠的印刷电路。因为印刷电路的生产的批量性以及产品周期的变化性提出了对电子电器容许参数设计的大量需求。

### 1.3.2 硅油墨印刷电子技术

硅油墨印刷电子技术是一种迅速崛起的绿色环保半导体技术，相比有机印刷电子技术，该印刷技术具有更新的研究和商业项目支撑，通常使用经过处理的硅纳米粒子作原料。目前这一研究领域的出版物和涉及此领域的公司较少。目前，美国加利福尼亚州 Milpitas 的 Kovio 公司是此领域的典型。但是，我们认为，与有机印刷标签技术相比，在同时满足低成本标签制造和保证标签性能方面，基于硅油墨印刷的互补 n 型和 p 型（CMOS TFT）技术更具优势。

Kovio 公司是一家研究硅油墨印刷电子技术的公司。该公司开发了一种硅油墨与其他辅助油墨相结合的技术，并将这两种油墨顺序地存放在薄金属基片侧面尺寸为 300～400mm 的区域。油墨被印在基片上后出现硅岛，形成的硅岛用于散开溶剂，同时留下聚硅晶体薄膜。除了将上述硅油墨作为主要的加工原料外，Kovio 公司还为栅介质开发了一种氧化油墨，为原 n 型和 p 型掺合剂研制了一种油墨，同时还为连接硅并形成真正具有优良迁移免疫特性的高质量硅互联研发了一种高传导性金属油墨。

低成本是印刷标签的共有优点，硅油墨印刷标签以本身特有的优势吸引了更多的关注。

首先，基于硅纳米粒子的印刷晶体管的迁移率远远高于（几个数量级）印刷有机晶体管的迁移率。作为硅印刷电子领域龙头企业之一的 Kovio 公司其生产的 n 型产品迁移率高达 $200cm^2/Vs$，然而有机印刷电子的迁移率约为 $1cm^2/Vs$。喷墨印刷实现了高迁移率。分辨率和喷墨印刷处理可实现的特征尺寸是 10μm，近期目标是 4μm。如前所述，在室温（300K）情况下，传统的半导体晶体硅中的电子迁移率为 $1350cm^2/Vs$，空穴迁移率为 $480cm^2/Vs$。显然，目前的硅油墨迁移率不能与单晶油墨迁移率相比，但具有较大的提升空间。重要的是，如今 $80 \sim 200cm^2/Vs$ 的硅油墨迁移率比目前有机印刷电子的迁移率要高。这提高了数据速率，使得标签整流器能够在 13.56MHz 下高效工作，并且从内部标签电路时钟中获得同步时钟。尽管在当前的设备特征尺寸和相关的寄生电容条件下，利用特高频段的印刷硅 TFT 进行整流是可行的，但效率很低。硅油墨迁移率比单晶迁移率低，这是因为，即使硅油喷墨使用激光聚合技术来形成 n 型和 p 型材料，但仍然是多晶材料。

通过硅油墨技术生产的晶体管是激光再结晶的非晶硅，通常用于通道顶部的栅极（“顶部栅极”技术）。该技术通过源极和漏极与栅极紧密相连，从而降低了叠加电容，使得生产与 nMOS 晶体管一样好的 pMOS 晶体管成为可能。多晶硅比非结晶硅的电子迁移率高，并且多晶硅较低的门限电压使其能够在低电源电压下稳定工作。

其次，与有机材料相比，硅油墨原料对大气的敏感性较差，因此硅油墨印刷标签具有很好的环境和电性能稳定性。

第三，由于高温激光退火和存放的喷墨或丝网印刷硅油墨的聚合作用会产生大量的热量，故硅油墨印刷电子技术使用的基片是金属薄片。目前，硅油墨印刷电子技术中用于制作小面积 PIC 基片的金属薄片（通常为不锈钢）的价格比有机印刷电子技术中使用的塑料薄膜基片的价格低得多。源自石油工业的聚合物薄膜的成本与全球石油商品价格息息相关。硅油墨设备和电子电路能够方便地被装配在卷轴和大表格式印刷设备上，如图 1-3 所示。

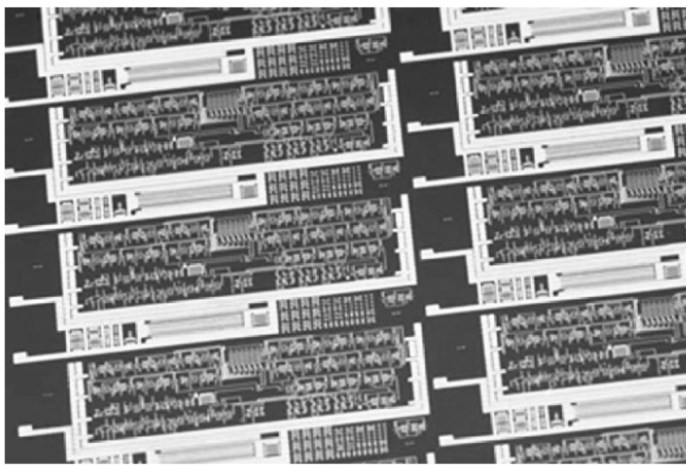


图 1-3　大表格式中的 PIC 阵列（图片由 Kovio 公司提供）

Kovio 公司调整了研发策略，将其研究重心放在 TFT 设备性能而非低温加工方面。其方法是对印刷后的原料进行高温处理，这样仍可以使用柔韧的基片进行工作。基片必须为金属薄片，而非塑料薄片。

虽然硅油墨技术具有众多益处，但与有机晶体管技术一样，同样存在晶体管数量受限的缺点，因此，该技术仍然会影响并限制协议的复杂性。对现今的印刷晶体管标签电路而言，集成晶体管的个数约为 2000，这是一个较为合理的上限值。这是对麻省理工学院的 Auto－ID 中心最初的概念——简约结构的回归。“简约结构”是指 IC 简单，但足以满足协议需求，当然这种需求是由适量的晶体管实现的。由于当时人们的研究重点是传统的单晶集成电路，几乎没有人预料到即将到来的全印刷 CMOS 半导体革命，所以此时 EPC 技术和产品研发方向被放弃。

毫无疑问这种情形将使该产业重新回到简易的 RFID 标签。在终端用户和技术开发商提出能够实现当时无法预料的低成本印刷半导体技术的可行规范方案之前，麻省理工学院 Auto－ID 中心已对其进行关注。

目前，基于硅油墨的标签存储空间是基于简单掩模可编程 ROM 或者是基于 OTP/WORM 的。印刷 EEPROM 存储单元相关的外部设备电路会增加额外的开销，但是其耐用性和充足的数据保存时间为未来印刷标签产品指明发展方向。

硅油墨印刷技术适宜实现高频标签，也可用于特高频标签。但这两种标签并不是在任何地方都具有传统单晶远距离特高频标签的可读距离。其中有以下三个原因：

1）在特高频段上具有高效率的整流器（射频输入到直流输出的转换），但还不能在高产量的印刷半导体设备上进行商业使用。

2）由于印刷晶体管的门限电压存在显著差异，所以基于硅油墨印刷的 TFT 电路所需的工作电压约是现今单晶集成电路所需电压的 2～3 倍。

3）较大的寄生电容导致较高的电路功耗。

上述限制意味着硅印刷能够制造特高频标签，但与现有的特高频产品相比，其标签的可读范围很小。硅油墨技术能够很好地应用于短距离接近、非接触或厘米级范围内的特高频标签应用读取，此类特高频标签便能满足商业运作对低成本的需求。另一方面，未来硅印刷同近场特高频标签系统竞争还需要一些时间。这是因为真正的特高频近场标签密闭体积内包含较高的局部化磁场强度/功率密度，能量密度将有助于克服整流效率较差、较高的工作电压和电源需求。然而，这种预想需要实验来验证。

将硅印刷标签产品用于短距离应用并不悲观，因为较小的空间体积限制了该空间内的标签物理数量，因此在很大程度上缓解了防碰撞需求，并释放了一些简单的协议（Kovio 公司和 iPico 公司研制的配置 Tag Talks Only 协议的单晶对应物，也称 TTO 协议）。

同时，以上列举的特质也缩短了 Kovio 公司的高频标签可读距离，相对于单晶高频标签而言，它远不及特高频标签。因此印刷 TFT 标签被视为更具竞争力的高频产品。

通过比较有机印刷电子技术和硅油墨印刷电子技术，可以得出以下结论：硅油墨印刷标签的价格低廉，高性能 CMOS TFT 电路支持全同步高频协议、数据传输率高。因此，与有机印刷电子技术相比，在众多应用中硅油墨印刷标签更有可能取代传统标签。硅油墨印刷技术生产出的晶体管能够快速实现高性能的 RFID 标签。

目前我们还没有发现其他推动技术发展的高性能半导体。

## 1.4　印刷半导体标准相关协议

现有的 ISO/IEC 18000 EPC Gen2 规范需要 75000～130000 个晶体管才能得以实现。这种复杂程度符合传统半导体行业的单晶 IC 芯片要求，但与目前正迅速崛起的新一代低成本全印刷 RFID 标签的要求相悖。为了避免零散的业界标准出现，该行业需要进行反思并制定一套新的印刷 RFID 的核心标准。全球 RFID 技术主要的开发商以及半导体产业力推现已成熟的单晶标准来满足终端用户的要求。然而，终

端用户推动了低成本印刷 RFID 的标准化进程。

RFID 产业面临的下一步挑战是制定基于简单协议的新标准和实现基于 TFT 印刷半导体的标签结构。目前，现有的技术标准都是围绕传统单晶 CMOS IC 制定的。在传统单晶 CMOS IC 中，较高复杂度和较多的晶体管数量并不是很严重的问题，在没有产生重大后果的情况下是可以承受的。然而，印刷 CMOS 半导体产业的兴起将带动产业的复苏，同时要求回归到简单、有效系统结构电路的简约协议。iPico 公司和 EMarin 公司的 Tag Talks First（TTF）、TTO 概念，以及其他发布的和尚未发布的有关基于有限命令集的简约 Reader Talk First（RTF）提议成功诠释了该协议。RTF 协议使用了一些经过策略性筛选的可以考虑应用在可印刷标签的命令集，但是这些争议也限制了印刷标签在很多应用领域的实用性和操作性的优势。即使是小协议，采用基于阅读器命令的协议时，其所需的标签状态机数字逻辑也可以很快地统计出晶体管的数量。

虽然人们力荐在供应链的应用中使用 RFID 技术，但是我们认为新兴的低成本 RFID 将进军公共交通票务应用市场和迅速崛起的 NFC 应用。在这两项应用中，查询区域只包含一个标签。低成本简约 RFID 高频标签技术具有简易 Tag Talks First（TTF）和 Tag Talks Only（TTO）“射频条形码”，正在吸引人们发展品牌认证与保护、消费品促销、物品等级交互、资产管理和零售损失预防的兴趣。硅油墨印刷标签的厂商们认为这些对成本高度敏感的市场将使 EPC 市场萎缩，所以对通过增加电路复杂性来解决防碰撞和自适应轮询问题并不感兴趣。但是本节没有提及这些问题，在未来的应用中这些问题可能是至关重要的，也可能是在印刷技术中增加晶体管数量的可行方案。然而，由于受印刷标签晶体管数量的限制，印刷协议、防碰撞和安全系统需要进行调整。在此之前的协议设计和架构必要时要进行精简，尚未解决的复杂性问题限制了印刷电子产业进入供应链 EPC 物品级标签市场。在实现全印刷电子 RFID 标签的情况下，产业界需面临简约思想和低复杂度为导向的标签设计。

### 1.4.1　精简的自适应轮询协议

为实现传统单晶电子，业界出现了诸多自适应轮询协议。但是印刷电子技术仍无法实现大量晶体管的集成。我们认为通过简约协议可以消除标签群选择和检测微弱应答标签的复杂处理，开发碰撞监测中受限的标签动态区域检测，能够得到用于一个比特的四个周期的前半周期或后半周期的子载波调制的自适应轮询协议。该协议可以实现大约 2500 个晶体管的集成，相信在不久的将来这样的晶体管数量将可以进入商业应用。

### 1.4.2　ISO 协议

据说，Kovio 公司已生产出了基于硅油墨的标签，该标签满足高频 ISO/IEC

14443－A 同步协议，返回链路数据传输速率为 106kbit/s。比特传送遵从 ISO/IEC 14443－A（Sect. 8.2）协议规范，即 106kbit/s 的曼彻斯特编码和 5% 的 847kHz 的 OOK 调制。所有标签的反向链路参数、副载波频率、调制速率等都与已发布的 ISO 规范兼容。值得注意的是，Kovio 公司生产的标签使用全同步时钟，这意味着这些标签容易被传统的 14443、15693 高频阅读器设备读取。Kovio 公司生产的第一代 PIC 标签被设计成 ISO/IEC 14443－A 协议简化子集。它们不执行任何转发链接命令。这种标签在上电复位或待机复位时可立即产生 128 位的有效载荷响应，执行 TTO 协议。然后，只要查询区域持续供电，该标签就会在随机睡眠间隔后重复传输，从而有利于标签的读取，同时增强了标签读取防碰撞能力。除去状态机逻辑电路和支持命令的外围电路后，标签所需的晶体管数量大大减至约 1000 个。NFC 阅读器硬件需要对固件进行小幅改动以适应 TTO 通信协议，该协议通常没有数据流量来控制整个协议的实现。需要注意的是，副载波频率和内部时钟通过对 13.56MHz 轮询载波频率直接下变频的方式获得。目前，像这样的同步时钟和高速数据传输速率只有高性能的硅油墨 TFT 晶体管和 CMOS 电路能够实现。

现已采用高频协议的硅印刷标签产品有 NFC 移动电话手持设备及其他标准的高频阅读器硬件设备。可以预见，融合已安装的阅读器和 IT 基础设施以及向后兼容性是实现未来印刷电子协议标准的前提条件。也许只需通过升级小固件为可读取的 PIC 标签即可实现。阅读器硬件或嵌入最新 NFC 阅读器的芯片集都保持不变。

对于采用 ISO/IEC 14443－A 高频协议的印刷电子标准仍存在争议。人们迫切需要具有与厘米级读取距离相适应的近距离读取、适度防碰撞能力的标准，从而限制读取区域中标签数量。

### 1.4.3　TOTAL 协议

源自 IPICO 协议的 ISO 18000－6（c）标准是每秒发出 50 个标签（或者更多）的简单防碰撞协议（见 http://www.ipico.com。该协议以 Tag Only Talks After Listening（TOTAL）命名）。当印刷标签制造商的兴趣从单一标签应用领域转移到多标签领域时，这种无需先侦听的协议引起了关注。人们认为 TTO 协议能够满足很多现实应用中的要求。修改后的 TTO 协议是适合于印刷电子技术且拥有较少晶体管数量的协议的典型代表，但它仍适用于 RFID 应用。当开发一个新的印刷电子标准时，标签构造、协议和电路复杂性既不是有益的也不是必要的。

目前 RFID 产业中具有洞察力且注重实效的研究者已经懂得如何权衡复杂性、性能和成本三者之间的关系。这也是简单 TTO 协议在零售和其他应用领域上受欢迎的原因。简单 TTO 协议的衍生协议 TOTAL 已经整合到 ISO/IEC 18000－6 UHF 标准的修订版和 SC31 技术分委员会工作组批准的草案更新版中。以无缝随机延迟和标签碰撞重传为基础的 TTO/TOTAL 协议有一个突出的特点，即阅读器中没有前向

链路命令传输。能量充足的 TOTAL 标签会持续不断地侦听阅读器载波命令的到达，当没有侦听到载波指令时，该标签就不断地在其附近的载波上传输突发的随机应答数据，所以它能实现与其他所有标签的互操作性和非干扰性。这种继承性的静态操作确保了执行 TTO 协议的标签不会响应执行 RTF 协议的标签，如在混合标签群中的 EPCglobal UHF Gen2（ISO/IEC 18000－6C）标签。但对于许多距离受限的高频应用不需要这种监听方式。

## 1.5　结论

基于微电子标签的 RFID 技术在成本和性能方面已经取得了重大进展。我们探索其发展状况，并认为通过降低 RFID 标签成本来推动未来经济增长并将引发一次技术浪潮。

实现真正低成本标签的方法为包括天线在内的全印刷标签技术，这种标签在很大程度上已被企业采用低成本的制造技术得以实现。喷墨印刷就是实现低成本印刷技术的一个典型例子。更重要的是，该技术能够充分利用设备，从而具备大批量生产能力。然而，我们需要做的是加大工厂资本投资，升级和整合分散的生产设备，以满足即将到来的下列应用领域的需求。

1）现有小型化电容标签缺乏自愈能力的 EAS 市场。

2）RFID 领域的潜在应用：以反诈骗和防伪为目的的安全标签。

3）一次性大规模的票务卡。

4）面向移动电话消费群体的各种 NFC 标签。

基于本章罗列的各种原因，作者尝试探索两种关键的印刷技术：有机印刷电子技术和硅油墨印刷电子技术。在这些技术成为单晶硅微电子标签的主要竞争对象之前，这两种技术中仍有一些关键问题急需解决，如表 1-3 所示。

**表 1-3　有机印刷电子技术和硅油墨印刷电子技术面临的主要问题**

| 硅油墨印刷电子技术 | 有机印刷电子技术 |
| --- | --- |
| 在标签上实现安全机制时标签范围严格受限 | |
| 晶体管数量较多 | |
| 假设区域内只有一个标签，以便保持协议的简单化 | |
| 高温处理，尽管这并不是严重的缺陷 | 只能制造 p 型晶体管，而 n 型被认为是必要的，但似乎不太可能发生 |
| | 当前的载流子迁移率为 $1cm^2/Vs$，2016 年将提高至 $10cm^2/Vs$ |

显然，由表 1-3 以及前面的讨论可知，在 RFID 应用领域中，有机印刷电子技

术成为竞争者之前，有许多问题需要解决。然而，这些问题一直悬而未决。相反，迁移率较高、支持 n 型和 p 型晶体管的硅油墨印刷电子技术则提供了一套很好的解决方案。

以下为印刷行业关键技术的发展需求，正是这些需求使得新兴技术进入现实世界的应用领域。

1）在某些应用领域中，目前缺乏 ISO/IEC 空中接口协议标准，这个协议标准是为满足印刷 TFT 设备的晶体管数量要求制定的。

2）如果简易标签的功能得到认可，那么终端用户就可以享受标签成本大幅下降带来的好处。

3）必要的观念转变：从现今复杂结构的单晶产品向具有适当防碰撞能力的简单 RF 条形码标签转变。

4）解决轻量级但有效、可行的紧凑型数据安全机制。

# 参考文献


Cantatore E, Geuns TCT, Gelinck GH et al (2007) A 13.56-MHz RFID system based on organic transponders. IEEE J Solid-State Circuits 42:84–92

Chan YJ, Kung CP, Pei Z (2005) Printed RFID: technology and application. IEEE Int Workshop on Radio-Freq Integr Tech. doi:10.1109/RFIT.2005.1598894

Chua LL, Zaumseil J, Chang JF et al (2005) General observation of n-type field-effect behaviour in organic semiconductors. Nature. doi:10.1038/nature03376

Cole PH, Engels DW (2006) 21st century supply chain technology. White Pap Auto-ID Lab. http://www.autoidlabs.org/uploads/media/ AUTOIDLABS-WP-SWNET-015.pdf. Accessed 20 Feb 2010

Cole PH, Kauer C, Engels DW (2002) Standards for HF EPC tags. http://www.quintessenz.org/rfid-docs/www.autoidcenter.org/media/hf_cheap_tags.pdf. Accessed 21 Feb 2010

Crone B, Dodabalapur A, Gelperin A et al (2001) Electronic sening of vapors with organic transistors. Appl Phys Lett 78:2229–2231

Das R (2007) Organic & printed electronics forecasts, players & opportunities. Print Electron World. http://www.printedelectronicsworld.com/articles/organic_and_printed_electronics_forecasts_players_and_opportunities_00000640.asp?sessionid=1. Accessed 12 Feb 2010

DeLeeuw DM, Simenon MMJ, Brown AR et al (1997) Stability of n-type doped conducting polymers and consequences for polymeric microelectronic devices. Synth . Metals 87:53–59

Frequently asked questions (2010). RFID Journal. http://www.rfidjournal.com /faq/20. Accessed 10 Feb 2010

Harrop P (2010) Printed RFID in 2010. Print Electron World. http://www.printedelectronicsworld.com/articles/printed_rfid_in_2010_00001961.asp?sessionid=1. Accessed 21 Feb 2010

Johnson RC (2007) Silicon circuits made ink-jet printable. EE Times. http://www.eetimes.com/news/semi/rss/showArticle.jhtml?articleID=202805929&cid=RSSfeed_eetimes_semiRSS. Accessed 16 Feb 2010

Knobloch A, Manuelli A, Bernds A et al (2004) Fully printed integrated circuits from solution processable polymers. J Appl Phys. doi:10.1063/1.1767291

Lammers D (2007) Kovio inkjet prints fast silicon transistor. Semicond Int. http://www.semiconductor.net/article/206308-Kovio_Inkjet_Prints_Fast_Silicon_Transistor.php. Accessed 15 Feb 2010

Liao F, Chen C, Subramanian V (2005) Organic TFTs a gas sensor for electronic nose applications. Sens & Actuators B. doi:10.1016/j.snb.2004.12.026

O'Connor MC (2008) Kovio Unveils Printed-Silicon HF RFID, Chip Tag. RFID J. http://www.rfidjournal.com/article/articleview/4389/1/1/. Accessed 15 Feb 2010

OE-A Roadmap for Organic and Printed Electronics (2009) Organic electronics association white paper, 3rd edn. http://www.vdma.org/wps/portal/Home/en/Branchen/O/OEA/. Accessed 1 March 2010

Sirringhaus H (2009) Materials and applications for solution-processed organic field-effect transistors. 0018-9219. doi:10.1109/JPROC.2009.2021680

Sirringhaus H, Sele CW, Ramsdale CR et al (2006) Manufacturing of organic transistor circuits by solution-based printing. In: Klauk H (ed) Organic electronics. Wiley, New York

Sirringhaus H, Tessler N, Friend RH (1998) Integrated optoelectronic devices based on conjugated polymers. Science. doi:10.1126/science.280.5370.1741

Someya T, Sekitani T, Iba S et al (2004) A large-area, flexible pressure sensor matrix with organic field-effect transistors for artificial skin applications. Proc Nat Acad Sci. 101:9966–9970

Steudel S, Myny K, Arkhipov V et al (2005) 50 MHz rectifier based on an organic diode. Nat Mater 4:597–600

Steudel S, Vusser SD, Myny K et al (2006) Comparison of organic diode structures regarding high-frequency rectification behavior in radio-frequency identification tags. J Appl Phys. doi:10.1063/1.2202243

Subramanian V, Chang JB, Vornbrock AF et al (2008) Printed Eelectronics for low-cost electronic systems: technology status and application development. doi:10.1109/ESSCIRC.2008.4681785

Subramanian V, Frechet JMJ, Chang PC et al (2005) Progress towards development of all-printed RFID tags. Proc IEEE 93:1330–1338

# 第 2 章　物联网的突破性进展

Leonardo W. F. Chaves, Zoltán Nochta

**摘要：**本章从企业的角度介绍物联网（Internet of Things，IoT）。物联网通过互联网对现实生活中的各种物理实体进行连续地追踪和监测。其获取的信息可用于优化整个产业价值链。物联网要求网络中的物体能够被唯一标识，而且这些物体所在的环境能够被传感器监测。目前，诸如各种类型的条形码、有源或无源 RFID，以及无线传感器网络技术在物联网中均发挥了重要作用。然而，这些技术要么不具备提供环境监测的功能，要么成本较高。有机电子是一种基于有机墨的印刷电子电路的新技术。利用该技术可以制造超低成本、可与传感器配套使用的智能标签，它将极大地推动物联网的发展。同时，本章还将讨论如何用有机智能标签实现物联网应用，以及这些技术的开发途径。最后，指出当在商业应用中使用有机智能标签产生海量数据时需要面临的技术问题。

## 2.1　企业范畴的物联网

互联网络无处不在，早期互联网能够实现任何地点以及任何人之间的联系，然而，未来互联网即将实现物与物之间的连接。

物联网的核心思想是无缝地收集和利用信息，这些信息来自现实环境，甚至是各种物体生命周期内的信息。各种物理实体不仅指日常物品，还包括了各种企业资产，如机器、工具、建筑物、车辆、集装箱和仓储设备等。这些物理实体将增加传感、计算和联网的能力，成为未来商业运作中活跃的一部分。

通过互联网将采集到的产品和货物来源、运动轨迹、物理和化学特性以及适用范围等信息有效化，将帮助企业改善现有的业务状况，创造新的机遇。

企业可利用物联网对公司内部业务流程包括生产、分配、运输、服务和维护，以及高效的产品回收等进行监测和控制。传统的企业流程和相关软件系统通常依靠手工采集数据。然而，在许多情况下，手工采集数据容易出错，导致软件系统不能根据正确的信息做出最好的决策。

例如，某个系统能够为生产设备自动预定备用配件、维护设备运行，则该系统需要得到准确及时的信息，以便确保生产的连续性，优化成本和公司的资产利用率。在相关的类似关键业务中，不准确数据的使用会导致产品质量和业务流程性能

的降低，并致使人们不能在关键时刻做出有效决策。这将会造成一些负面影响，如订单延迟、成本增加和产品脱销等。

物联网能够帮助公司准确掌握整个企业的运作情况和产品的生产过程。理想情况下，软件系统中的数据是对现实的准确、及时、完整的反映。

为了实现这个目标，企业中的各物理实体，如上述提到的机器设备及相应的零部件都需要智能化。例如，当有产品入库或出库时，设备零部件能自动显示其仓库编号，无需人工干预。因此，存货清单能够根据仓库信息及时更新，避免脱销现象。

这些智能实体，更精确地说是植入或者附着了智能芯片的实体，不仅可以提供有用的功能，而且可以实现所设想的新型业务流程的功能。

这些智能实体所提供的功能主要分为五类：信息存储、信息采集、通信、信息处理以及操作执行。

智能实体能够提供任意子实体和多个功能实体的组合，这些元件依赖特定需求、可用技术和成本。例如，安装了 RFID 标签的货盘支持信息存储，并具有通信功能，这样就能在相关的读取点自动获取货盘的序列化运输集装箱代码。

1）信息存储：使用传统信息系统的企业，产品相关的数据通常被存储在一个较大的集中数据库中。正常情况下，产品和与其相关的数据之间没有直接联系。智能实体有助于改善这种状况，它通过存储和显示它们自身或所处环境等不同类型的信息来建立它们之间的联系。智能实体存储的信息可以是预先设定的静态数据，如标识、生产/有效日期、目标位置、重量、物主等，也可以是该实体生存周期内持续更新的动态数据，如历史追踪、当前位置、物体的环境临界温度等。根据需要，不同类型的存储元件可用来存储不同特性的实体数据，如只读、一次写入多次读出、反复读写存储模式。物品信息可以存储在电子设备中，也可以存储在被编码成线性条形码或二维数据码的印刷标签上。

2）信息采集：智能实体可自主收集自身信息和所处的环境信息。采用多种专用传感器及其相关技术可实现对动态变化的不同参数进行观测。位置信息是移动物体的首要监测参数。物体的位置属性是给定坐标系下（2D/3D）的绝对位置和方向。物体的位置可通过精确观测技术和系统确定（如 GPS），也可根据观测设备的已知位置间接获取（如确定位置的静态 RFID 阅读器）。在已知物体的标识和当前位置的前提下，便可进行业务流程的优化。例如，已知企业流动资产的准确、及时位置信息后，便可以优化资产的维护程序。同样，物体的方位也可通过多种方式测量得到。例如，当选择读取范围时，商店里的智能货架通过 RFID 标签便可确定附着了标签的商品的位置是否正确。除了确定物体的位置，智能货架还可监控商品的状态。这些状态信息需要通过适当的特殊传感器获得，这些传感器能够感应温度、速度、加速度、运动、压力、湿度、压力、光照强度、机械力等参数。利用现今高

端的传感器技术，我们可以持续监测和确定商品的化学性质，主要是对液体和气体的监测。配备了智能传感器的容器或房间可以确定其中存放的商品的成分及是否含有化学制剂。这些信息有助于管理气体排放，同时，便于监测运输、存储过程中容器内产生的化学变化，从而避免危险化合物的生成。

3）通信：智能实体的基本功能是信息通信。智能实体能够与周围其他设备，甚至是业务软件系统进行通信。在智能系统中，各实体之间多采用无线通信：但在实际应用中，也采用了有线通信。不同频带的无线电波成为无线系统的通信媒介，其他典型的无线传输媒介有光波（如红外线）和声波。业务软件系统与智能实体之间的信息交换可通过请求响应机制完成，通常，作为请求方的应用总是期望在同步模式或异步模式下收到智能实体的响应。另一种交互方式是智能实体向后台系统单向发送消息。这些消息主要是通知和警报信息。例如，当智能房间的室内温度大于等于预定的阈值时，它便通知后台系统。

4）信息处理：随着特定环境下的智能实体数量的增加，如何对采集的大量信息进行处理便越发重要。为了克服这个问题，智能实体对收集的信息进行自主处理或者是预处理。基于微处理器或微控制器的信息处理能力，智能实体可根据实时的环境状况调整自己的状态和行为。例如，智能商品能够通过监测的商品的存储条件自动确定其有效期，还可以对收集到的大量数据进行汇聚。数据汇聚的目的在于传递业务处理所需要的可靠信息。信息处理可通过分布式和协作式两种模式实现。例如，在智能家居中包含了多个智能设备，其设备装备有光线、声音、温度传感器以及与其相适应的无线传感器接口，例如 ZigBee 等。传感器对数据进行测量和搜集，便可以确定是否有入侵者进入房间。在这项应用中，单个的智能实体只能提供各自决策所需的部分数据片段，如报警。

5）执行操作：智能实体能够主动控制和调整自己的状态，如果需要，也可以通过执行操作改变现实生活的状态。如果考虑使用专门设计来操作和控制现实生活中物体的嵌入式系统，这种功能将更加凸显。例如有效调节房间温度、调整发动机转速等。给予适当的激励，智能实体将运作得更加灵活，例如不断变化的外部环境。另外智能实体可以与人进行互动，信息可以通过显示屏进行显示和播报。

智能实体以及物联网对企业业务流程和基础软件系统的影响与集成可通过进程集成模式进行说明和表征。图 2-1 所示为实时数据传输、进程控制和配置任务执行三种集成模式。

1）实时数据传输：企业需要处理大量的数据信息，这些信息包含有与当前状态，甚至与过去商品状态相关的实体信息和环境信息。智能实体将收集的近似实时的数据传递给后台系统进行后续处理。从业务进程的执行来看此时智能实体处于被动地位。

2）进程控制：由于智能实体被直接放在执行的物理节点上，由后台系统处理

的业务进程流会受到智能实体的直接或间接的控制。依据当前的运行状况，智能实体可以利用分布式传感器适时地启动和停止相关步骤。

3）配置任务执行：较为复杂的使用行为允许智能实体直接执行任务或其子进程。“执行” 主要是指由智能实体完成与配置进程任务相一致的数据采集和转换。

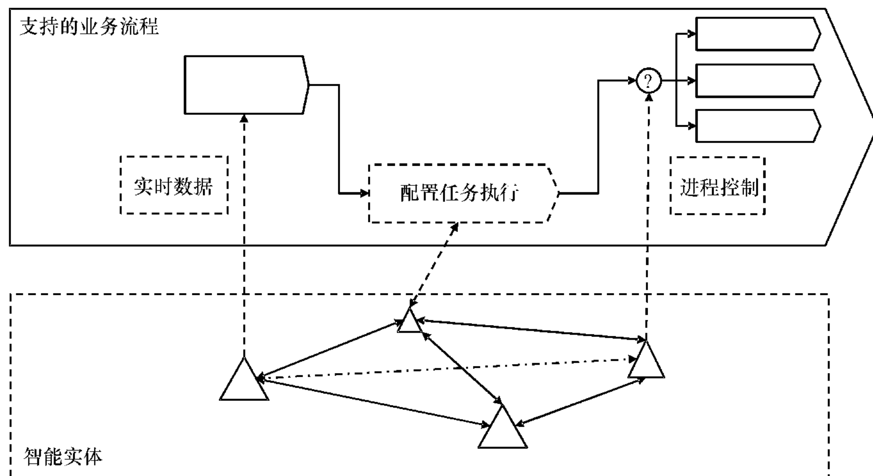



图 2-1　业务流程中的智能实体（Reprinted with permission from the Publisher from Nochta，2008）

当物品离开公司内部业务流程范围（如售出等）时，该物品就从生产公司的视野内消失了。将来，服务提供商将利用现实生活中的实物和信息，这些信息是由多个独立业务实体采集和管理得来的。这些服务都依赖于可管理的商业应用，在整个价值链上，不同团体可以针对各自不同的目的来使用这些信息。从如今独立的公司内部状况来看，使用多个企业管理的业务数据不仅是实现物联网的重要进步，也是参与企业的重大商业机遇。我们将列出应用实例。

## 应用案例

基于物联网技术的产品认证服务能够帮助品牌所有者打击假冒产品、侵权行为以及非法交易（见图 2-2）。该服务可以联合多个品牌持有者的数据，合法的经销商、零售商、海关以及那些具有购买原品意愿的消费者通过网络实现的集中管理应用。

在产业价值链中，该服务为合法用户提供唯一的接入点，该接入点利用安全技术和不可复制的产品标志可以实现在任何情况下产品真伪的辨别。产业价值链的参与者能够提供持续追踪和追踪信息，这将有助于系统识别非法交易等异常活动。例如，通过非法渠道偷窃转移商品等。

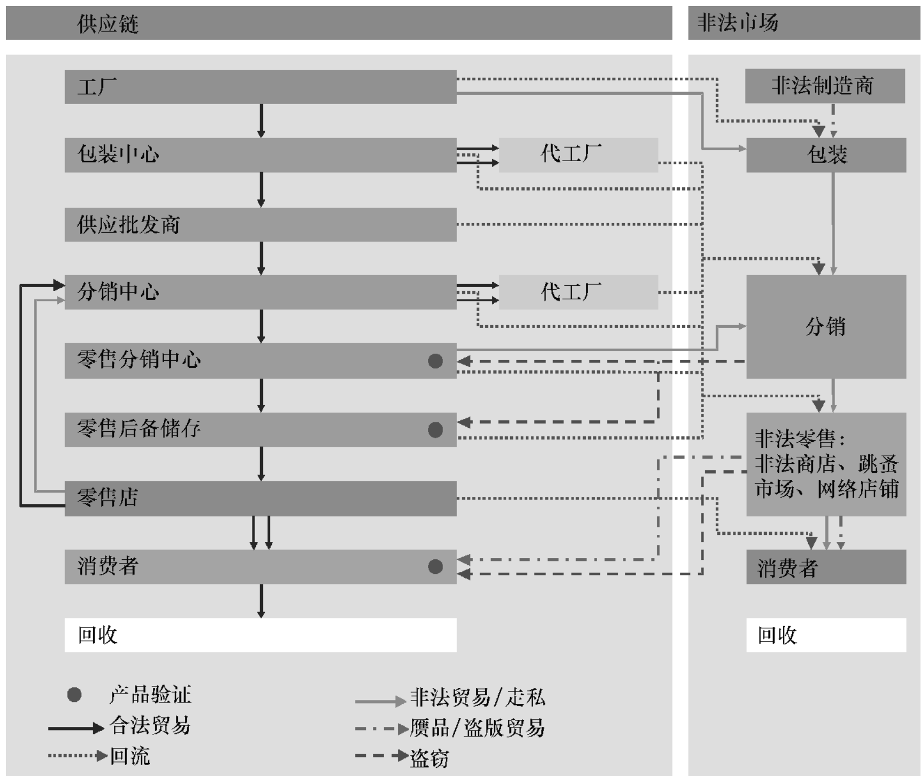



图 2-2 产业价值链上的非法经营

下面从终端用户的角度举例说明产品认证服务功能。当消费者购买商品时，若怀疑该产品为赝品，消费者可以用手机摄像头拍下印刷在产品包装袋上的安全标签，如图 2-3 所示。安全标签的数据包含了存储商品等级信息（如全球贸易序列识别标志，生产批号，有效日期等）和检测图案副本（即二维条形码）。通过互联网，把拍摄的图片发送给服务系统，产品认证服务体系便会立即分析该安全标签，并将产品认证结果和合法配销途径一起反馈给用户。具有 RFID 功能的手机能够利用自动识别和与智能标签通信功能自动完成上述程序。




图 2-3 利用手机摄像头捕获的印刷安全标识

## 2.2　物联网的实现技术

本章中所描述的场景以及所提及的物联网需要与现实生活中的信息服务紧密结合，需要识别技术、物体跟踪技术和环境感知技术的支持。现已实现的智能技术有条形码、单晶硅 RFID 和无线传感器网络。但是，这些技术存在着一些固有的难题，因此无法完全释放物联网的潜力。

1）条形码：条形码是最简单的智能技术。一维或二维的条形码能够编码出商品的识别号，条形码可直接打印在商品或商品的标签上，制作成本很低。但是，条形码认证存在着许多问题。例如，条形码认证只能在验证人员视线内完成，当物体已封装于箱子或货盘内时，只有通过人工协作才能够进行认证。此外，在认证过程中，一次只能对一个具有条形码的物品进行认证，若对多个印刷有条形码的物品进行认证时，只能进一步增加人手。

2）无源 RFID：RFID 技术可以对视线范围以外的多个物体进行识别。通常，无源 RFID 无需电池供电，标签不能提供任何感知信息。即使无源 RFID 标签能够提供即时的感知信息，也不能提供历史数据。除此之外，当面临市场大规模应用时，无源 RFID 标签成本价格始终过于昂贵。平均而言，当前将 RFID 标签转换为商品商标的成本在 0.09 ~ 0.15 美元之间，当然，成本高低与生产数量相关。对于供应链中的零售商而言，将大批量的价格较低产品，如奶制品等嵌入 RFID 标签，会导致其成本太高。基于单晶硅芯片的传统 RFID 标签无法达到多个生产环节技术应用的低成本需求。这是因为 RFID 标签的生产过程中存在一些高成本且无法摒弃的步骤。RFID 标签制造过程包含了 RFID 芯片制作；生产 RFID 天线，锻压成片后与 RFID 芯片相连接，最后将得到的“智能标签”贴在某个物体上。

3）有源 RFID：有源 RFID 标签使用电池为传感器供电并支持无线通信。然而，这种标签尺寸太大，不能贴于物体表面上，并且价格昂贵，成本价格在 10.00 ~ 30.00 美元之间。因此，有源 RFID 通常用于监测箱子、货盘或集装箱，很少用于标记单个物体。

4）无线传感器网络：无线传感器包含有多个植入了传感器的小型计算机，网络部署与有源 RFID 标签的部署相似。但与有源 RFID 标签不同的是，无线传感器网络中的各传感器之间可以相互通信。例如，部署在一个房间里的多个无线传感器可以通过相互通信来估计室内的平均温度。然而，该项技术也面临与有源 RFID 一样的问题，即传感器尺寸大，成本高。

下节中，我们将介绍一种新的技术，该技术具有现有技术的优点，并具有超低成本、无线认证和感知信息的特点，该技术将真正促进物联网的发展。

## 2.3 有机印刷电子技术

印刷电子技术作为一项新的技术，具有生产超低成本智能标签的能力，该技术能够真正促进物联网的发展。使用导电油墨可以印刷电子电路。在商品的生产过程中，能够将该技术生产出的超低成本智能标签直接印刷在包装袋上。另外，该项技术还可以通过印刷电池、传感器及监控器等设备扩展现有的智能标签功能。

有机或无机原料可通过标准的工业印刷机进行印刷，例如，用于印刷报纸的印刷机每秒可以完成多个平方米版面的印刷（见图 2-4）。这有助于实现超低成本的电子元器件的生产，进而实现将诸如智能标签之类的电子元器件应用到以往不可能涉及的领域。



图 2-4　在卷轴印刷工序上生产的有机印刷电子（PolyIC Press Picture. © PolyIC 2006）

现有的大多数传统电子元器件都是单晶硅的。这些高性能的电子元器件都是经过高度集成化和微型化的，而且每个晶体管的价格都非常低。然而，它们的制造工

艺非常复杂，例如，需要设计多个模具并对单晶硅薄片进行腐刻（消减过程），还需要昂贵的空间设施，增加了几亿美元的微芯片工厂费用。

利用印刷电子技术将不同的原料进行印刷，形成了电子元器件（添加处理）。这无疑减少了电子元器件的生产步骤，降低了原材料成本，以及总设备开销，使生产变得简单、快速、廉价。然而，印刷电子技术的工作性能较低。对于印刷电子元器件而言，虽然印刷电子的每个晶体管的价格比传统电子元器件高，但是其单位价格却低于传统电子元器件。因此，在某些对电子元器件尺寸大小、运行速度无特殊要求，但追求电子元器件低成本的应用中，印刷电子元器件有望替代传统电子元器件。

## 2.3.1　有机电子和无机电子

如上文所述，印刷电子可以使用有机或无机原料。无机原料（例如锌氧化物（ZnO）等）具有优良的环境稳定性和工作特性（载流子迁移率），但无机粒子不易溶解，难以加工。相反，有机原料（如塑料和聚合物等），通常具有较好的加工性能，且自身的物理性质易用化学方法调整。因此，本节主要讨论有机电子。

通过有机电子，能够印刷和集成二极管、晶体管、存储器、电池、传感器等元件。该技术能够生产出比常规智能标签更加便宜的新“有机”智能标签。这些标签可以包含了大量的传感器，如温度、光线、压力、张力传感器。而且，鉴于其超低的成本价格，能够使单个物体上印刷多个有机智能标签（多标签）。一方面，由实验可知，多标签提高了有机智能标签的通信可靠性。另一方面，多标签为单个物体提供了多个不同的传感器数值。每个配备了多标签的物体都相当于一个无线传感器网络，虽然数据管理变得复杂，但却能够更好地监控该物体的状况。有机智能标签与基于单晶硅的标准 RFID 标签的对比见表 2-1。

**表 2-1　有机智能标签与基于单晶硅的标准 RFID 标签的比较**

| | 无源 RFID | 有源 RFID | 有机智能标签 |
|---|---|---|---|
| 传感器 | 不确定 | 有 | 有多个 |
| 电池 | 无 | 有 | 有 |
| 价格 | 0.2~1 美元 | 10~30 美元 | 待定（预计为 0.02~0.1 美元） |
| 范围 | <10m（UMF）<br><1m（HF） | 约为 1000m | 未知 |
| 频率 | LF，HF，UHF，GHz | LF，HF，UHF，GHz | HF（2018 年达到 UHF） |
| 存储容量 | 64KB | 1MB | 1bit（2016 年达到 96bit） |
| 储存器类型 | ROM，WORM，RW | ROM，WORM，RW | ROM（2016 年引入 WORM，2018 年引入 RW） |

### 2.3.2 有机智能印刷标签的发展蓝图

我们对制造有机智能标签的主要概念和技术进行了研究。然而，为了在市场上成功地引入该产品，还需对产品参数（如产量）进行优化。现在只存在简单的有机智能标签，该标签只包含一个 1 ~4bit 只读存储器（ROM），没有传感器和电池。

图 2-5 所示为有机印刷智能标签的发展蓝图。该图数据来自于有机印刷电子的 OE – A 发展蓝图。如前所述，目前只存在简单的有机传感器。2012 年诞生了第一块全集成的印刷电池，它能使有机智能标签集成更多的复杂传感器，这些传感器能够持续监测其环境，甚至在缺少读取设备的情况下也能进行工作。随着时间的推移，智能标签的存储容量将会不断上升，至 2016 年将达到 96bit。另外，我们还将引进“写一次读多次”（WORM）的存储类型。这些存储器能够存储电子产品代码（EPC）——EPC 是编码商品认证码的重要标准，WORM 型存储器的引入是有机智能标签发展的里程碑。长远来看，有机智能标签有望实现全 EPC 通信协议。首先实现的是高频（13.56MHz）标签，然后是特高频（850 ~950 MHz）标签。

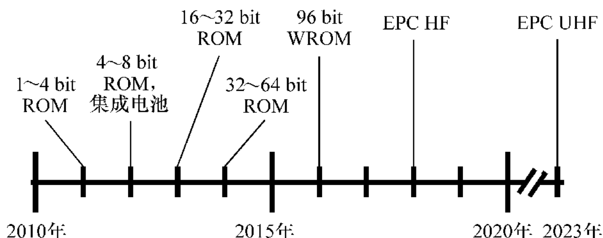



图 2-5 有机印刷电子的 OE – A 发展蓝图

为避免混淆，在图 2-5 中没有画出传感器。目前，市场上存在温度、光线、压力、张力等各种各样的传感器，同时很多其他类型的传感器也在发展。

### 2.3.3 使用有机智能标签存在的问题

物联网由大规模的信息系统组成。其中，信息系统包括资源规划系统、资料库管理系统、应用服务器等。物联网利用智能标签技术将业务流程与现实生活中的物体相关联。物联网中信息系统从基础设施网络中获取数据，如零售店的标签阅读设备。随后的主要任务是：①处理获取的数据，如传感器数据和信息识别；②执行相应的操作，如启动补货订购程序；③存储获取的数据，通常保存多年，例如食品工业中的数据保存。但是，有机智能标签的大规模部署将产生大量的数据，目前很多系统无法对其进行有效处理。这是因为每个物体都携带很多的智能标签，所以数据量远大于 RFID 设备所产生的数据量。因此每个物体将包含一些能返回冲突数据的传感器。下面将对上述两个方面进行讨论。

1）海量数据：随着有机智能标签的大规模使用，物联网信息系统存在的核心问题是对海量数据的处理和管理。识别信息与各自数据相关，如物品在业务进程中所处的位置及状态。例如，如果沃尔玛公司对商品使用了 RFID 技术，那么每天将产生 7TB 的数据量。当每个商品包含有 10 个或 100 个有机智能标签时，数据量将急剧增加。在最大负荷的情况下，例如当货物托盘到达一个阅读器设备时，元数据会发生变化。在信息系统中，数据会以泛洪的形式进行传播更新，例如，更新货物位置的元数据。为了快速处理数据，信息系统必须高速率运行。在整个供应链上运行海量数据将给中间件系统带来更高的负荷量。为了处理整个供应链上的复杂事件，我们将对不同来源的数据进行合并。同时，要求信息系统提供实时处理。RFID 数据压缩和处理算法是处理有机智能标签产生的海量数据的基础。

2）数据质量：当商品嵌入了多个智能标签和传感器时，数据质量变得至关重要。当每个物体上配置了 100 个或 1000 个的传感器，来自单个智能标签的数据可能会被送至后台处理。一方面，提供冗余。一个智能标签的失效并不会导致严重的后果，因为邻近智能标签采集的数据可对其进行补偿。另一方面，过滤不一致或相互冲突的数据较为复杂。无法正确采集数据的传感器可能会引发不必要的甚至是高成本的进程和操作。由于物联网信息系统之间的多样化关系使得我们很难找出问题的源头。有关解决不确定性的 RFID 数据的解释以及过滤的成果可以在调整后应用于提高有机智能标签产生的数据的质量。

为了进一步开展研究，本节讨论了物联网中使用有机智能标签存在的问题。随着数据量的大幅度增长，信息系统也需要同比例增长并能够实时查询。中间件系统的高负荷量、整个供应链的事件处理和嵌入商品的多个智能标签都需要灵活的工作负荷数据分配机制。该机制在有机智能标签、阅读设备、中间件计算机系统以及数据库管理系统之间进行数据分配。这也意味着在一定程度上，我们需要重新考虑利用一些现有的方法去解决这些问题。

## 2.4　结论

本章主要从企业的角度介绍了物联网。物联网能够通过互联网实现对现实物体的跟踪。然而，目前实现这一目标的技术（条形码、基于单晶硅的 RFID 标签、无线传感器网络）面临着固有的一些问题。有机电子是一种使用有机油墨印刷电子电路的新技术。它能够生产装有传感器的超低成本智能标签，因此，该项技术使得物联网的实现成为可能。物联网的发展得益于智能标签。另外，本章还探讨了这项技术未来的发展形势，并在最后指出了当在商业应用中使用有机智能标签产生的海量数据时需要面临的技术问题。

致谢：本章的研究工作由 Polytos 项目支持（德国政府资助）。

# 参 考 文 献

Bolotnyy L, Robins G (2007) The case for multi-tag RFID systems. In: Proceedings of international conference on wireless algorithms, systems and applications. Chicago, IL, Aug. 1–3

Cocci R, Tran T, Diao Y, Shenoy P (2008) Efficient data interpretation and compression over RFID streams. In: Proceedings of the 2008 IEEE 24th ICDE, pp 1445–1447, Cancún, México

Cosnard M, Dickerson K, Jeffery K, Pogorel G, Prasad R, Sieber A, Weigel W (2008) ICT Shaping the world: a scientific view. Wiley-Blackwell, Chichester

Das R, Harrop P (2007) Organic & printed electronics – forecasts, players & opportunities 2007–2027. IDTechEx research report. http://media2.idtechex.com/pdfs/en/U3021T7639.pdf. Accessed 1 March 2010

Finkenzeller K (2003) RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification, 2nd edn. Wiley, Chichester

Hu Y, Sundara S, Chorma T, Srinivasan J (2005) Supporting RFID-based item tracking applications in Oracle DBMS using a bitmap datatype. In: Proceedings of the 31st international conference on VLDB, **Trondheim, Norway,** pp 1140–1151,

Jeffery SR, Garofalakid M, Franklin MJ (2006) Adaptive cleaning for RFID data streams. In: Proceedings of the 32nd international conference on VLDB, Seoul, pp 163–174

Leenen MAM, Arning V, Thiem H, Steiger J, Anselman R (2009) Printable electronics: flexibility for the future. Phys Status Solidi (A) 206(4):588–597

Mühlhauser M, Gurevych I (2008) Ubiquitous computing technology for real time enterprises. Information Science Reference, IGI Global, Hershey, PA

Nochta Z (2008) Smart items in real time enterprises. In: Mühlhauser M, Gurevych, I (eds) Handbook of research on ubiquitous computing technology for real time enterprises. IGI Global, Hershey, PA.

ODIN Technologes (2010) RFID tag pricing guide™ report. http://www.odintechnologies.com/rfid-tag-pricing-guide?cmp=unknown&panel. Accessed 10 March 2010

OE-A Roadmap for Organic and Printed Electronics (2009) Organic electronics association white paper, 3rd edn. http://www.vdma.org/wps/portal/Home/en/Branchen/O/OEA/. Accessed 1 March 2010

Picard J (2004) Digital authentication with copy-detection patterns. In: Rudolf van R (ed) Optical security and counterfeit deterrence techniques V, Proceedings of the SPIE 5310:176–183

SAP (2008) SAP research: SAP research report 2007/2008. http://www.sap.com/about/company/research/pdf/SAP_RR_2007-2008.pdf. Accessed 1 March 2010

Schuman E (2004) Will users get buried under RFID data? Ziff Davis internet, November 9. http://www.eweek.com/c/a/Enterprise-Applications/Will-Users-Get-Buried-Under-RFID-Data/1/. Accessed 1 March 2010

Subramanian V, Chang JB, Fuente V, Alejandro de L et al (2008) Printed electronics for low-cost electronic systems: technology status and application development. In: Proceedings of IEEE European solid-state device research conference, Edinburgh 15–19 September, 2008. doi: 10.1109/ESSDERC.2008.4681677

Staake T, Fleisch E (2008) Countering counterfeit trade. Springer, Germany

Wang F, Liu S, Liu, P (2009) Complex RFID event processing. VLDB J 18(4):913–931

# 第 3 章　网络化 RFID 系统面临的威胁

Aikaterini Mitrokotsa，Michael Beye，Pedro Peris－Lopez

**摘要**：RFID 技术是当前快速发展的领域，人们关注 RFID 技术固有缺陷所造成的安全风险问题。然而，人们大多关注隐私相关的问题。本章主要是对 RFID 面临的威胁进行概述。这不仅可以帮助专家对 RFID 系统进行风险分析，同时也可以提高非专家人士对 RFID 安全问题的认识和理解。我们使用 RFID 领域和经典风险分析中被广泛认可的概念来构建本章内容。

## 3.1　引言

RFID 技术是普适计算的重要研究领域。该技术具有非接触识别的特点，并在数据处理和存储方面具有较大的潜力，因此，与现有的条形码、光学识别等机器可读识别技术相比，该技术更具优势。然而，RFID 系统存在缺陷，使它们易受到大范围攻击。本章试图介绍当前 RFID 技术所面临的问题。虽然隐私是一个重要问题，但是，安全亦不容忽视。对其威胁进行全面完善地分类有助于深入理解 RFID 的安全性，同时，也便于选择和制定有效的策略。

早前已有有关 RFID 系统安全问题的总结报告。确切地说，最初的研究工作只是简单罗列了 RFID 系统的常见攻击。当更详细的分类法被提出时，隐私威胁问题受到学者的关注。2006 年，Karygiannis 等人提出的 RFID 风险模型，致力于研究网络、业务流程及商业智能化风险。2009 年，Mirowski 等人致力于 RFID 硬件层及模型攻击序列的研究，同时，Mitrokotsa 等人从物理层、网络传输层、应用层和策略层不同层次对 RFID 威胁进行了划分。本章从层的概念进行介绍，并加入了信息安全和风险分析（保密性，完整性，可用性（CIA））。

根据攻击对 RFID 系统中不同层的影响，将其分为三类：RFID 边缘硬件层攻击，RFID 通信层攻击，RFID 后端平台攻击。RFID 边缘硬件由 RFID 标签和阅读器组成。通常，这些设备的物理安全性不是很强，因此，它们易受干扰和其他物理攻击。对于 RFID 标签尤其如此，标签成本和尺寸的限制，制约了其资源。

通信层负责信息的交换。RFID 无线电技术主要完成数据的发送和接收。因此，无线链路极易受到攻击——人们可以监听链路，修改链路上的信号，信号传输易堵塞。

RFID 系统的后端平台负责链接 RFID 阅读器与数据库和其他辅助系统，数据库和其他辅助系统用于对 RF 事务数据的存储、分析和处理。后端平台包含了数据库、网络服务器等设备，因此存在对网络应用和网络系统的攻击。本章主要针对 RFID 通信的攻击进行探讨。有关网络系统攻击的概述参见其他文献资源（Kaufman 等，2002）。

根据安全属性，将每层细分为 3 个类别。保密性确保信息或业务无法被非法用户访问；完整性保证信息或业务无法被非法用户修改；可用性确保信息或业务能够被合法用户使用。图 3-1 对上述分类进行描述。

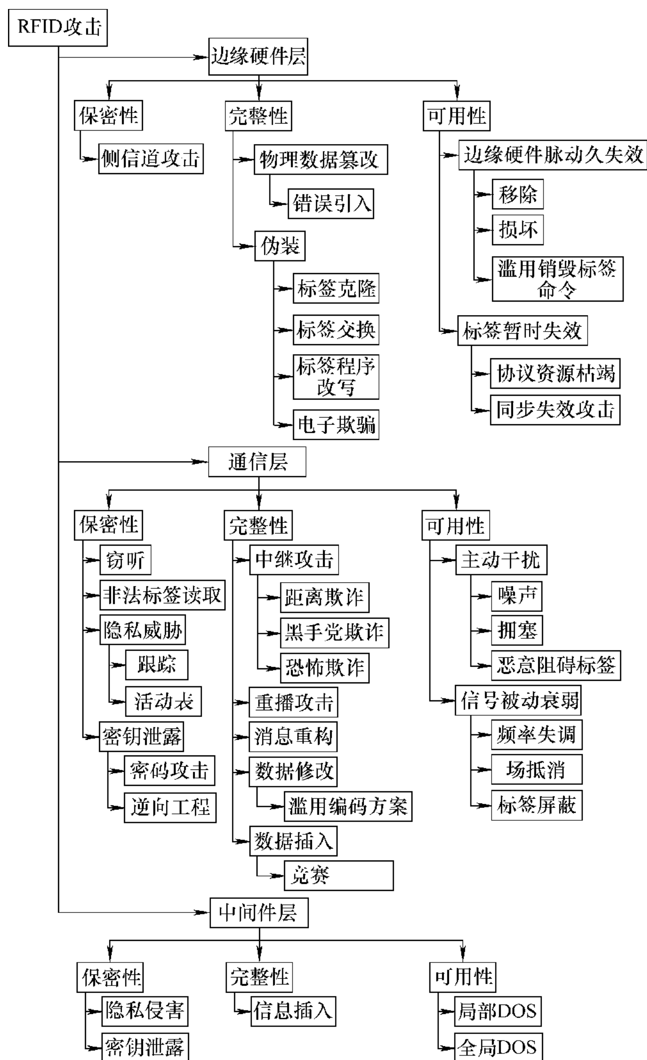



图 3-1 RFID 系统中攻击的分类

本章安排如下：3.2 节、3.3 节和3.4 节分别介绍了 RFID 边缘硬件层、通信层和后端平台面临的威胁。值得注意的是，虽然对威胁的现有分类涵盖所有种类的 RFID 系统，但在某些情况下，只有 RFID 技术的单个子集受到影响。最后通过表格总结了每层的威胁，以及由其导致的损害，实施攻击/威胁的成本，对威胁最敏感的 RFID 标签种类，相应的对策和其相关成本。在表格中，将 RFID 标签分为高成本标签和低成本标签两个类别。高成本标签包含有源和半有源标签，或者具有较大计算能力或具有较广无线电范围的自供电标签。另一方面，低成本标签资源有限（等效门和功耗），计算能力差（内存小）。最后，3.5 节将对本章进行总结，并提出尚未解决的问题。

## 3.2　RFID 边缘硬件层

在 RFID 边缘硬件层中，攻击是利用阅读器的较差物理安全性和较低的物理操作抵抗能力来攻击 RFID 标签和阅读器。主要的攻击有侧信道攻击、物理数据篡改、伪装攻击，以及暂时或永久性硬件边缘损坏。

### 3.2.1　保密性

为保护信息的保密性，信息数据应该只对授权方开放。根据系统保密对象不同，系统保密性攻击的方式存在很大差异。

侧信道攻击

若非法者有充足的时间访问边缘硬件，并尝试从中获取信息。可以根据侧信道对策措施推导出信息的数据和硬件操作上的错误（错误攻击或小故障），从而影响信道的信息输出，也可以直接读出内存数据（篡改）。2006 年，Berkes 对此进行了简单概述。

大部分的攻击都需要专门设备，并且只能依靠专业人士和设备齐全的实验室完成。侧信道攻击的影响随着应用场景的变化而变化，因而该攻击可能会让入侵者获取 RFID 标签密码，甚至泄露标签到阅读器的认证密匙。前面提到的入侵者能够使标签永久失效，从而偷窃贵重物品。对于后面提及的密钥泄露，将使入侵者获得受限区域的访问权限，窃取重要信息甚至引发金融欺诈。

以下简单讨论此类攻击的多种方式：

1）侧信道分析：它是攻击者在测量时延、功耗或发射信号以及辐射信息波动时发起的非入侵式攻击。上述测量数据是反映 RFID 设备的输入数据和内部状态的重要信息。例如，后向散射回波信号的波动可能引起内部电阻的相关变化。根据泄漏信息的不同所采用的应对措施方式不同，可区分各种侧信道攻击。如基于功耗变化，可以区分简易功率分析（SPA）攻击和差分功率分析（DPA）攻击。计时器攻

击利用目标计算速度产生的波动，也可能是延迟。RFID 设备进行加密操作时会引起电磁场的变化，可由差分电磁分析（DEMA）对变化进行测量。对于后者，可能会泄露密钥等重要信息。2007 年，Oren 和 Shamir 通过测量从标签到阅读器的功率轨迹，获得了特高频标签的关键密码，实现了 SPA 攻击。同年，Hutter 等人完成了 RFID 标签的 DPA 攻击。精确地讲，通过功率和电磁分析完成了对高频标签的硬件和软件 AES（高级加密标准）的实现。2008 年，Plos 已证实即使是特高频标签也极易受到 DPA 攻击。2009 年，Hutter 等人实现了对 RFID 设备公钥发起了 DPA 攻击。

2）故障攻击：它是当入侵者尝试在操作设备期间制造错误，从而通过正常输出通道或侧信道非法提取信息时发起的一种攻击。这种攻击可通过改变设备的输入或工作环境条件，如热、冷、电磁辐射（如紫外线（UV）或 X 射线）、电压、不间断供电或磁性来达到目标。

3）物理篡改：入侵者能够在不破坏其存储数据的情况下，尝试拆散设备以恢复数据。另一种物理篡改是对特定硬件进行针对性的操作和破坏。例如，通过改变 ROM 中个别单元来改变密码行为和密码种子。其他入侵攻击方式则是保留和直接读取存储单元。但电源中断时，易失性存储器的数据将会丢失。有些设备（如智能卡）检测到攻击时，通过删除内存的方式保护数据。减缓内存损失的方法有冷却硬件，或者通过辐射将数据状态永久存入内存，也可以快速进入硬件，以便在设备对攻击有反应前切断保护措施。即使没有这些成本较高的解决方法，在断电后也可读取内存。如果 RAM（随机存取存储器）长时间以恒定状态（0 或 1）供电，那么将产生所谓的“内存剩磁感应”，可用于部分数据的恢复。

## 3.2.2 完整性

保障信息完整性可定义为保证所有信息及相关处理方法是准确和完整的。一旦认证被避开或绕过，完整性就被破坏。因此，需要研究在 RFID 系统中对认证产生威胁的攻击。在边缘硬件层中，这一攻击被将归纳为物理数据篡改和伪装攻击。

### 3.2.2.1 物理数据篡改

在 RFID 系统中，可通过错误引入及存储器写入进行物理数据篡改。错误引入是指在数据被写入或处理时进行数据篡改。存储器写入要使用专门的设备，如激光切割显微镜或小针探头。该方法可以直接影响存储器单元（Hancke 和 Kuhn（2008）中的 ROM 攻击就是一个很好的例子）。虽然这种方法难度大且费时，但却避开了软件保护。篡改物理数据的影响取决于应用场景和被篡改信息的危险程度。这种攻击会造成标签的存储数据及被标记物体数据之间的不一致。因此，这种攻击可能会导致严重的医疗事故（即篡改贴在药物上的标签存储数据），甚至假冒原装产品。

#### 3.2.2.2　伪装攻击

通过标签克隆、标签交换、标签重新编程或电子欺骗等手段可以制作假冒的 RFID 标签。攻击者主要利用伪装标签或阅读器使其能够进入限制区，获取敏感信息和访问权限。

1）标签克隆：现已证实复制 RFID 标签相当容易，既不需要花很多钱也不需要很多专业知识，只需要一些必需的设备，例如，软件和空白标签。德国研究员 Reid 证实电子护照易克隆。如果 RFID 标签不采取任何安全机制，那么很容易完成将标签的识别 ID 和相关数据复制到克隆标签。然而，如果标签采用了安全机制，那么应发动更复杂的攻击以便于辨别克隆标签与合法标签。采用何种克隆攻击在一定程度上取决于标签使用的安全机制。但是，克隆并不只是复制标签 ID 及数据，还要制造一个仿照原标签以及其特征的 RFID 标签。人眼无法区分克隆 RFID 标签和合法标签。

2）标签交换：另一种伪装攻击是标签交换，方法十分简单，但却是零售产品跟踪和自动销售的真正威胁。标签交换是将某一物品的 RFID 标签撕掉，随后将该标签贴在另一物品上（例如，“交换”价格标签）。在零售商店中，小偷挑选出高价商品和低价商品，然后交换两件商品的价格标签，这样就可以支付较少的钱“购买”高价商品。后端系统不能正确地将商品与其价格进行关联，因此，其信息的完整性被损害。

3）标签重新编程：部分标签在构建过程中可以直接或利用接口的方式重新编程。直接编程是在知晓密码的前提下，通过 RF 接口实现的。然而，使用 ROM 的标签不能重新编程。通常，制造假冒标签最便宜的方式是重复利用现有的标签，如果需要，能够对其重新编程。例如，利用丢弃的标签或者在开放市场购买同类型的标签。

4）电子欺骗：电子欺骗可以被看做是克隆标签的衍生方式。它们的主要区别是在于，电子欺骗不对 RFID 标签进行物理复制。此外，由于 RFID 阅读器也可以伪造，因此电子欺骗攻击并不限于标签。若要实现此类攻击需要专门的设备，该设备能够根据数据内容完成 RFID 标签和阅读器的仿造。攻击者则需要能够访问合法的信息渠道，以及用于认证的协议和密钥信息。攻击的目的是仿造合法标签或者阅读器探取敏感信息和获得未授权的服务。

### 3.2.3　可用性

可用资源是能够被所有合法用户随时访问并使用的资源。当 RFID 边缘硬件由移除、销毁和破坏等方式造成永久或暂时失效时，其可用性将受到影响。

#### 3.2.3.1　边缘硬件永久失效

移除或销毁操作可能使 RFID 标签和阅读器永久失效。使用特定的销毁命令也

可能使 RFID 标签永久失效。永久失效的 RFID 标签将导致被标记物体难以追踪，因此，造成供应链团体或零售店的巨大损失，损失的大小则取决于攻击范围的大小。

1）移除：RFID 标签物理安全性较差，如果标记在物体上的标签粘贴或者嵌入得不够牢固，就很容易被移除。标签移除无需特殊的技术就可以轻易做到。这种威胁将导致物体无法被追踪，从而引发严重的安全问题。幸运的是，这种攻击不能大规模的展开。如果无人监管，RFID 阅读器也可能会被移除。鉴于阅读器体积较大，攻击难以实施。

2）损坏：较低的物理安全性不仅导致标签易被移除，而且易被破坏。未被妥善管理的 RFID 标签易被蓄意破坏者破坏，蓄意破坏者可以通过化学、增加压力，甚至通过简单地裁剪天线的方式实现破坏。然而，即使 RFID 标签没有受到恶意破坏，它们也可能遭遇恶劣环境条件，如极端的温度，或者因处理不当产生的磨损。此外，滥用 RFID Zapper 等设备也能致使 RFID 标签失效。该设备工作在强大的电磁场中，强大的电磁场足以烧坏标签的内部电路。

RFID 标签尺寸小，易于攻击，然而，RFID 阅读器也可能面临类似的威胁。RFID 阅读器通常存储着重要的安全认证数据，如加密密钥等，因此，极有可能成为攻击的目标，尤其在无人监管时。破坏或盗取 RFID 阅读器可能会中断 RFID 通信，干扰 RFID 系统的可用性。

3）滥用销毁标签命令：有些标签具有永久销毁或锁定的安全功能。由 Auto - ID 中心和 EPC global 创建的规范——KILL 指令，可以使标签永久销毁、无法响应请求。若干 RFID 标准利用 LOCK 指令防止标签的非法写入。通常预定义密码用于认证，这种密码暂时或永久的自我锁定。实际上，多个标签可以共享一个密码（如同一个商店的所有货物）。否则，密码管理就会出现问题，例如大型清单需要与货物一起运送。尽管这些功能都可用于隐私保护，但是它们也有可能被滥用，从而使 RFID 标签永远无法工作并破坏 RFID 通信。在某些情况下，标签使用的密码是低熵的（1 EPC Gen 1 标签是 8 位的，EPC Gen 2 标签是 32 位的），而且极易被破解。除此之外，主密码还可能锁定和破坏大量标签，严重损害系统安全。

#### 3.2.3.2 边缘硬件暂时失效

极端的环境条件，如标签被水或冰覆盖，协议资源枯竭，以及同步失效攻击都可能导致 RFID 边缘硬件暂时失效。与边缘硬件永久失效一样，尽管边缘硬件失效是暂时的，该攻击也能够破坏整个 RFID 系统。最常见的状况就是窃贼能够在商场里免费获得商品。

1）协议资源枯竭：某些协议限制了标签的阅读次数，或者限制了标签的阅读失败次数。有些协议使用计数器或者是时间戳计算最大次数，当达到限值后，标签便不可读。而其他协议为了保护标签，仅规定了其读取次数。哈希链协议就是利用

储存在标记上的哈希链固定长度限制标签的读取次数。当这些标签资源耗尽时，它们将再一次成为追踪攻击的对象。OSK（Ohkubo – Suzuki – Kinoshita）协议就是哈希链协议的一个例子。

此类攻击的另一手段是耗尽有源标签的电池电量以缩短它们的寿命。通过在一个频段上反复读取，致使标签资源“耗尽”，并失效。在某些情况下，故障是可恢复的，但绝大多数情况是不可以的。系统的中断操作和恢复与成本相关，会产生经济影响。

2）同步失效攻击：某些协议利用了标签与阅读器/服务器之间的同步特性。这种同步采用计数器（读取次数）、时间戳或更新的假名及密钥等形式。当双方都没有更新时，对抗性读取或更新阻止产生同步失效，如协议中断等。除非协议能够处理或恢复其同步，否则服务器将不能再读取或识别标签。即使在某些限制了同步失效的协议中，攻击或反复读取（被其他系统读取）也可能导致同步失效的发生。

### 3.2.4　威胁评估以及对策

表 3-1 为在边缘硬件层中存在的威胁，实施各类攻击/威胁的成本，以及易受攻击标签的分类。同时，列举了面对各类威胁可能采取的对策（解决方案）和其成本，这些方案有助于抵抗攻击。在表 3-1 中，成本评估使用低、中、高表示，成本应该考虑到效率、时间、实现攻击/抵御攻击所需耗费的经济成本。

**表 3-1　RFID 边缘硬件层的威胁和对策**

| | 攻击 | 潜在损害 | 攻击成本 | 标签类别 | 解决方案/方案成本 |
|---|---|---|---|---|---|
| 保密性 | 侧信道攻击 | 提取信息 | 高 | 低成本标签 | 1. 防篡改特殊标签（高）；<br>2. 限制电磁发射（中）；<br>3. 增加电路复杂性（高） |
| 完整性 | 物理数据篡改 | 改变标签存储器中的数据 | 高 | 低成本标签 | 1. 存储器保护（中）；<br>2. 安全的密码协议（中） |
| | 伪装攻击 | 1. 取缔合法标签；<br>2. 提取敏感信息；<br>3. 非法获得服务 | 中 | 低成本标签 | 1. 防篡改特殊标签（高）；<br>2. 存储器保护机制（高）；<br>3. 提高物理安全性（高）；<br>4. 使用加密技术（中） |
| 可用性 | 边缘硬件永久失效 | 1. 逃避认证；<br>2. 标记物体无法跟踪 | 低 | 高/低成本标签 | 1. 灵活的标签（中）；<br>2. 提高物理安全性（高）；<br>3. 有效的密钥管理（中） |
| | 边缘硬件暂时失效 | 1. 逃避认证；<br>2. 标记物体无法跟踪 | 中 | 高/低成本标签 | 1. 限制读取的失败次数（低）；<br>2. 存储新、旧密钥值 |

成本较高的攻击是侧信道攻击和一些高级的伪装攻击。在 RFID 边缘硬件层抵御攻击的对策中，成本最高的是那些具有较强鲁棒性和防篡改的特殊标签，以及采用较高物理安全性的策略，例如采用保安、摄像监控、门禁等。准确地说，侧信道攻击是最难克服的攻击之一。抵抗这类攻击的最合理方法是限制 RFID 系统的电磁辐射，但是这样会缩小系统的工作范围。另一个成本较高的对策是增加 RFID 标签内部电路的复杂性，从而增加逆向工程难度。鉴于 RFID 标签小型化的需求，这是一个很具挑战性的任务。防篡改标签也可以增加攻击的难度。然而，这种攻击的成本较高，不易普及。

## 3.3　通信层

通信层中的攻击是针对 RFID 通信和 RFID 网络实体间的数据传输而实施的攻击。

### 3.3.1　保密性

RFID 通信的保密性主要受到窃听、非法标签阅读、隐私威胁以及密钥泄露等攻击的破坏。

#### 3.3.1.1　窃听

开放的传输媒介和无线信道的不安全属性，使窃听成为 RFID 系统面临的重要攻击之一。RFID 通信系统中的窃听是指使用非法手段监听和拦截 RFID 实体间传输的信息。窃听者可能窃听阅读器至标签的前向信道，以及标签至阅读器的后向信道上的信息。然而，由于阅读器的信号较强，前向信道更容易受到窃听威胁。窃听的成功还与窃听者的位置有关，被拦截的信息可以被用于实现更复杂的攻击。通常，窃听者会拦截信息并提取有用信息进行更复杂的攻击。即使通过加密和认证技术对 RFID 通信进行保护，这种情况依然会存在，如流量分析攻击。

每种类型的 RFID 系统都有其自身的最大通信范围。尤其在无源 RFID 系统中，与后向信道（标签至阅读器）的通信范围相比，前向信道（阅读器至标签）通信范围更广。同时，无源标签通过前向信道供电，这就形成了第三个距离范围，即最大接收距离，在该范围内接收的功率能保证标签正常工作。理论上讲，系统的读取范围是上述三种距离范围的最小值。入侵者无需给标签供电，使用比常规标签或阅读器更大的天线，并且在增加的较差读取范围上进行窃听。最终，检测范围在发挥作用。这是标签或阅读器能够检测的最大范围，但是，实际信息的传输就毫无意义。

#### 3.3.1.2　非法标签阅读

不幸的是，RFID 标签缺少允许/禁止读取的 ON/OFF（开关）。更糟的是，并

不是所有类型的 RFID 标签都能够使用防止非法阅读的安全认证协议。因此，很多情况下，即使没有授权认证，RFID 标签还是能够被读取。

窃听和非法标签阅读是常见的攻击方式，该攻击给受害者造成极大的危害。当攻击带有竞争性的商业间谍目的时，这些攻击能够获取机密和敏感信息，如市场营销策略和股票信息。

#### 3.3.1.3　隐私威胁

在 RFID 协议中，存在许多用于隐私规范化的提议。起初，由区分两个已知标签的能力规范隐私。然而，该模型排除了侧信道信息的可能性。2007 年，Juels 和 Weis 利用侧信道信息扩展了模型，并允许入侵者选择两个标签。同年，Vaudenay 提出了隐私模型的分层结构，研究了 RFID 系统中有关标签损坏和侧信道的可用性的制约因素。具体而言，该模型引起了入侵者的注意，入侵者监视所有通信、在有限时间内追踪标签、损坏标签以及在阅读器输出端拦截侧信道信息。那些无权访问侧信道信息的攻击者被称为狭义攻击者。依据损坏的标签数量将攻击者定义为强壮、毁灭、前锋和微弱攻击者。

下面将详细描述两个重要的隐私威胁：追踪和活动表。

1）追踪：RFID 标签无法对合法与非法标签读取作出反应。入侵者利用 RFID 标签这一特征暗中收集私人信息，以便从中获益或者跟踪用户。收集的信息各种各样，如购物偏好、个人的医疗数据等重要的私人信息。例如，RFID 标签产生的痕迹可能会被入侵者用来跟踪定位某人的位置。即使这些信息是匿名的，它们仍能够提示用户的具体位置并创建活动档案。入侵者甚至利用未使用的多标签存储器创建非法的通信通道，从而达到获取传递信息的目的。这种非法信息传输难以检测。例如 RFID 标签的正规使用是个体鉴定，获取与其相关的社交活动信息。

2）活动表：与用户位置相关的信息或与某人相关的物体信息都可能被获取，入侵者利用这些信息实现更为直接的攻击。准确地说，入侵者可能锁定那些藏有贵重物品的人，在实施盗窃之前详细搜查室内物品，将做了标记的钞票放入口袋或盗取贵重/敏感的物品。护照也都有标记，它们可能会被不法分子用来发现特殊国籍的人或者引发“RFID 炸弹”。

#### 3.3.1.4　密钥泄露

入侵者较为关注的是与加密技术和密钥资料相关的信息。掌握了这些信息，他们便可轻易地伪造标签和阅读器，并获取相关特权访问其他信息。例如，获取存储在电子护照和身份证中的敏感信息。

1）密码攻击：存储在 RFID 标签中的敏感数据通常采用加密技术加以保护。然而，入侵者采用加密攻击破解加密算法，从而获取数据或篡改数据。攻击目标有口令认证机制、暗码、伪随机数发生器、哈希函数。典型的攻击有蛮力攻击（明码/暗码），选择密文攻击或已知明文攻击（暗码），预映射或者碰撞攻击（哈希函

数）。通过蛮力攻击破解了荷兰护照是具有代表性的 RFID 密码攻击案例。荷兰奈梅根大学的研究人员实现了针对基于专有算法 MIFRAE 卡的密码－1 算法的攻击。相同类型的卡已被荷兰公共运输协议使用。

2）逆向工程：逆向工程是指企图模拟设备或软件的内部工作原理、运行状况，以期更有效地对其进行攻击。首先，对专用密码、哈希函数或协议进行详细的研究，以便发现其缺陷。如果算法没有经过严格的测试，这将会严重影响系统的安全性。近年来，有关 Mifare 标签以及它所专用的密码－1 算法就是一个很好的例子。

逆向工程是侧信道分析、探测或电子脉冲信号干扰的重要工具。为了实现攻击，需要对设备内部工作原理进行充分理解。模拟尝试也能从逆向工程中受益；获悉原始设备的运行方式是实施复制的关键。

## 3.3.2 完整性

中继攻击、重播攻击、信息重构、数据修改和数据插入将破坏 RFID 通信信道的完整性。

### 3.3.2.1 中继攻击

在中继攻击中，入侵者扮演着中间人的角色。将入侵设备偷偷地放置在合法 RFID 标签与阅读器之间，旨在拦截或篡改 RFID 标签和阅读器之间的通信。而标签和阅读器错误地认为它们是直接与对方通信的。用于中继标签和阅读器之间的远距离通信的设备有：与阅读器通信的“ghost”，与 RFID 标签通信的“leech”。这些装置可能的工作范围比标称读取或功率可达范围更大，尤其是“ghost”，其工作范围与阅读器的功率无关。

2008 年，一位德国理科硕士生对荷兰票务系统进行了中继攻击，该学生仅仅利用 Kfir 和 Wool 描述的“ghost”和“leech”模型，就造成荷兰公共交通系统约 20 亿美元的损失。另一种重大的威胁是在受害者不知情的情况下掌握 RFID 信用卡款项。

依据诈骗组织的不同，中继攻击也被赋予不同的名字。

1）距离欺诈：入侵者使用假冒标签试图使合法阅读器相信它与该阅读器的距离比实际距离近。

2）黑手党欺诈：这种攻击主要涉及三个组成部分：合法标签 T，合法阅读器 R，攻击者 A。攻击者安排欺诈标签 T′和阅读器 R′试图让合法阅读器 R 以为它正与合法标签 T 通信，而事实上，阅读器 R 正与攻击者 A 通信。但是，这种攻击并没有泄露合法标签与阅读器的共享私钥。

3）恐怖欺诈：“恐怖欺诈”是指持有者完全合作的标签不与中继设备共享密钥资料。这就意味着它能够估算风险，但是不会将自己的估算方法告知入侵者。

#### 3.3.2.2　重播攻击

重播攻击是在某段时间内重新发送有效答复。这些答复可通过窃听和会话获得。该攻击与中继攻击相关，但是它发生在离线状态下，也就是说，获取信息的时间与重新发送信息的时间之间存在明显的延迟。重播攻击的最简单应用是在基于访问控制的 RFID 系统或者在 RFID 认证系统中，重复发送截取的合法标签到合法阅读器之间的传输信息。在这些应用中，入侵者能够获得特定的访问权限，或是通过重播截获的信息替代特定物品。即使信息被加密，依然可以实现重播攻击。信息中的新鲜源（随机数）是一个必要条件，但是就其本身并不能抵制重播攻击。

#### 3.3.2.3　信息重构

包含随机会话变量的协议通常对重播攻击具有一定的抵抗能力，尽管在某些情况下，通过多条信息的结合或分析能够限制这些新鲜信息。这就需要重构新的有效信息，这些信息将被进一步的攻击利用。因此，信息重构可能使入侵者进行更复杂的假冒攻击，例如获得受限区域的访问权利，简单的重播攻击则无法做到这一点。

#### 3.3.2.4　数据修改

RFID 标签通常配备有可写存储器，因此，入侵者便利用这一点传输或删除数据。该情况的发生主要取决于所采用的 READ/WRITE 保护和 RFID 标准。此类攻击所造成的后果与应用和修改的程度直接相关。例如，在医疗应用中，修改病人的药剂量或病例史标签将会造成可怕的后果。专业的入侵者可以修改标签的重要信息而不改变标签的 ID 和任何与安全相关的信息，如加密密钥、数字证书。因此，阅读器无法得知信息的变化。在 RFID 通信中，滥用编码方案是修改数据的一种重要方法。

滥用编码方案：修改传输数据的方法是在数据传输过程中，更换或翻转数据比特。某些编码机制易受此类攻击的影响。例如，当数据传输速率为 106KB 时，NFC 标签使用 100% 调制比的“改进密勒效应编码”，当数据传输速率大于 106KB 时，标签则使用 10% 调制比的“曼彻斯特编码”。100% 调制比意味着“0”和“1”被分别编码表示无信号和全信号，入侵者通过发送自己的信号能够将“0”变成“1”，但却不能将“1”变成“0”，因为入侵者无法减小合法阅读器发出的信号强度，然而，在 10% 调制比条件下，“0”表示弱信号（82%），“1”表示强信号（100%）。通过增加“0”或“1”两个信号，入侵者就可以按照自己的意愿对数据进行修改，调制比为 80% 的信号被看作是基线噪声，100% 调制比的是“0”，125% 调制比的是“1”。

#### 3.3.2.5　数据插入

不修改传输数据的比特位，只是增加新的数据或是整条信息的攻击称作数据插入攻击，而非数据修改攻击。该攻击通常发生在边缘硬件或后端系统，但是，最容易遭受该攻击的是通信协议本身。这种攻击具有多种实施场景。例如，入侵者插入信息改变字段，如改变商店中商品的价格等。最有挑战性的数据插入方法

是“竞赛”。

竞赛：数据插入要求入侵者在合法阅读器做出响应之前迅速发出响应，该过程需要瞬间完成，因而产生了“竞赛”的概念。这样，阅读器只能执行部分协议，如标签解锁等，同时，入侵者能够劫持通信会话，如将不同信息写入标签或在不更新假名的情况下关闭会话。

## 3.3.3 可用性

拒绝服务（DoS）攻击是 RFID 通信层最具挑战性的威胁之一，因为它易于实现，却难以防御。这种类型的攻击与被动降低射频信号的攻击和主动阻塞干扰通信的攻击是有区别的。

### 3.3.3.1 主动干扰

环境噪声、阻塞或滥用私有保护标签都将引起主动干扰。

1）噪声：RFID 系统的工作环境不稳定，且存在噪声，因此，RFID 通信容易受到各种无线电干扰，如电源开关和电子信号发生器等。

2）阻塞：在某些情况下，RFID 通信并没有采取认证机制，RFID 标签将接收其可达范围内的所有无线信号。入侵者利用与阅读器同样工作范围的无线信号故意制造电磁干扰，旨在干扰合法标签与阅读器之间的通信。

3）恶意阻碍标签：正常运行的 RFID 标签可能受到恶意阻碍，从而导致访问中断。滥用阻断标签和 RFID 保护会导致 RFID 标签的恶意阻碍访问和 DoS。这两种方法都是保护 RFID 通信免受隐私威胁。但是，它们都可能被攻击者利用，蓄意完成拒绝服务攻击。

### 3.3.3.2 信号的被动衰减

金属化合物、水和其他物质同样对无线电通信存在负面影响。基本的信号衰减、复杂的传播效应甚至标签屏蔽都会引发信号的被动衰减。

1）基本衰减效应：水、金属、人体，甚至某些塑料都会干扰无线电的传输。这些负面效应引发的衰减随水和导电液体的吸收作用、金属和金属表面的反射或折射作用、塑料等绝缘材料的介电效应/频率失谐作用等而变化。一般而言，频率越高，金属和液体对其性能影响就越大。

2）复杂的传播效应：如果高频（特高频/微波）无线电波与其反射波在空间某一点相遇，此时两者的相位相反，彼此互相抵消，此时就会发生传播效应，从而产生驻波和多径衰落。盲区的信号接收效果很差，但如果稍微调整传输信源或者是接收天线的方位，这个问题就可以顺利解决。这种传播效应难以预料，其产生并非人为而是自然发生的，无论采取任何控制方法都难以抑制。

3）标签屏蔽：如内衬铝箔的包装袋一样的法拉第笼可以将标签和电磁波屏蔽，从而阻断标签与阅读器之间的通信。这为小偷偷盗商品和逃脱结账提供了机会。

被动和主动干扰都可能导致 RFID 通信的中断，甚至导致公司、组织机构和商店里的识别系统完全崩溃。入侵者的目的要么是损害受害者利益，要么是在不受干扰和不被发现的情况下进行恶意行为，如偷窃等。

### 3.3.4　威胁评估以及对策

表 3-1 和表 3-2 总结了 RFID 通信层可能存在的威胁及其主要损害，并针对不同的威胁列举出相应的对策。低成本和高成本 RFID 标签都容易受到该层几乎所有的威胁攻击。

**表 3-2　RFID 通信层的威胁和对策**

| | 攻击 | 潜在损害 | 攻击成本 | 标签类别 | 解决方案/方案成本 |
|---|---|---|---|---|---|
| 保密性 | 窃听 | Case A：数据拦截；<br>Case B：数据提取 | Case A：低；<br>Case B：高 | 高/低成本标签 | 1. 后端存储重要数据（中）；<br>2. 屏蔽（中）；<br>3. 使用加密技术（中） |
| | 非法标签阅读 | 数据提取 | 低 | 低成本标签 | 使用认证协议（中） |
| | 隐私威胁 | 1. 跟踪；<br>2. 私人信息获取 | 中 | 高/低成本标签 | 1. 销毁标签（低）；<br>2. 组织访问（中）；<br>3. 使用假名标签（中）；<br>4. 加密（中） |
| | 密钥泄露 | 1. 仿造信息；<br>2. 使用敏感信息；<br>3. 破坏系统 | 高 | 高/低成本标签 | 1. 使用加密算法（中）；<br>2. 加长密钥（低、中、高） |
| 完整性 | 中继攻击 | 1. 控制通信；<br>2. 方位欺骗（距离） | 中 | 高/低成本标签 | 1. 距离边界协议（中）；<br>2. 测量信息强度（高） |
| | 重播攻击 | 1. 伪装信息；<br>2. 同步失效 | 低 | 高/低成本标签 | 1. 使用密钥更新机制（中）；<br>2. 使用时间戳（低）；<br>3. 使用挑战响应协议（随机数，时钟同步，计数器）（中） |

（续）

| | 攻击 | 潜在损害 | 攻击成本 | 标签类别 | 解决方案/方案成本 |
|---|---|---|---|---|---|
| 完整性 | 信息重构 | 1. 伪装信息；<br>2. 同步失效 | 中 | 低成本标签 | 使用密钥技术（中） |
| | 数据修改/插入 | 替换商标数据 | 中 | 高/低成本标签 | 1. 使用只读商标（中）；<br>2. 数据修改：使用有效安全的编码技术（中）；<br>3. 数据插入：认证处理（中） |
| 可用性 | 主动/被动干扰 | 通信中断 | 低 | 高/低成本标签 | 1. 主动：①开放问题 ②建立制度（低）<br>2. 被动：选择合适的频率和 RFID 阅读器位置 |

因攻击的难易程度不同，实施攻击的成本高低不等。窃听或被动/主动干扰的攻击成本较低，中继攻击等成本较高。对于通信层上采用的防御/抵制攻击的对策而言，大多数情况下，采用高效加密和认证协议能够有效地保护 RFID 系统，该对策实施成本适中。

但是，防御中继攻击必须采取更复杂的防御机制。防御中继攻击的方法是把标签与阅读器之间的距离作为安全度量标准。如果标签距离阅读器很近，我们就可以认为，在不被察觉的情况下，入侵者无法截获信息。

测量距离的技术有：测量的信号强度，时间延时或往返时间，或标签到阅读器的方位。理想情况下，应该在要求时间内尽可能快地制定协议，标签应尽可能快地给出反应以减小欺骗空间。基于以上原则的距离边界协议用于防御中继攻击。

## 3.4 后端平台

后端平台由许多不同的部件组成，同样易受攻击。后端平台一般由三部分组成：“服务器”、“中间件设备” 和 “应用软件”。“服务器” 负责收集阅读器发出的射频传输数据，“中间件设备” 负责将数据进行转换，以便数据能被后端平台中其他部件进一步的处理，诸如数据库和特定业务的 “应用软件” 实现这进一步的处理。入侵者对后端平台的攻击会造成严重的后果。

攻击的切入点最可能是来自硬件边缘和现有网络的信息流。本节只讨论来自边缘硬件的威胁。

### 3.4.1　保密性

在典型 RFID 系统中，大部分信息都保存在后端平台，如密钥信息、读取的历史数据和标签、目标对象或持有人的相关信息等。这使后端平台成为极具吸引力的攻击目标。

#### 3.4.1.1　隐私侵害

交易记录或与个人相关的信息可能被系统所有者或入侵者进行追踪、调查、利用或者攻击。

#### 3.4.1.2　密钥泄露

密钥信息通常保存在安全性较高的服务器中。然而，保存在服务器中的密钥并不是绝对安全的，如果攻击者控制了服务器，或者获得其访问权限，密钥的泄露就会发生。除了网络攻击、社会工程攻击、内部攻击等一般攻击外，RFID 标签和阅读器本身也可能成为实施攻击的切入点。利用从后端平台获取密钥信息，攻击者可任意追踪、访问或假冒标签和阅读器。为恢复遭受了严重攻击的系统，前向安全就变得至关重要了。后端平台密钥泄露造成的影响与通信层的类似。这种攻击使攻击者能够访问可为自己牟利的重要信息，如金融欺诈等。

### 3.4.2　完整性

信息注入攻击威胁到后端平台的信息完整性。同样，这种攻击也可通过网络攻击或通过来自阅读器和标签的流入信息实现。

信息注入攻击

中间件的代码注入攻击可以源于标签/阅读器侧，“利用”是实现该攻击的一种方式。中间件应用程序通常利用 Javascript、PHP、XML 及 SQL 等多种脚本语言注入攻击代码，使其存在大量安全漏洞隐患。2006 年，Rieback 等人描述了 SQL 中的信息注入攻击。

信息注入的另一种手段是缓冲区溢出攻击。此类攻击是主要威胁，同时是最难防御的软件安全问题。缓冲区溢出攻击是利用溢出固定长度缓冲器的存储数据或代码。当系统尝试正常处理溢出的数据时，数据将溢出缓冲区并进入堆栈，从而导致溢出攻击。考虑到 RFID 标签有限的内存空间，这种攻击并非是不需要考虑的，但是为了使数据溢出后端平台缓冲区，仍会有命令允许 RFID 标签重复发送相同的数据块。其他防御方式需要配备更多资源的设备，如智能卡或可以模拟 RFID 标签的设备，如 RFID 卫士。更高级的攻击包括利用 RFID 标签传播恶意代码，随后会感染 RFID 网络中的其他实体，如阅读器和连接的网络。在这类攻击中，蠕虫能够借助外部数据复制代码，而病毒自身能够复制代码。同样，为了存储、传播病毒和其他 RFID 恶意软件，攻击者可以利用更加高端的标签或辅助硬件。这类攻击的影响是极其严重的。比如，注入的病毒或恶意软件能够使医院识别系统的后端系统完全

瘫痪，或者篡改患者的隐私信息。

尽管这种类型的攻击并不普遍，甚至不太可能在现实生活中通过简单的无源 RFID 标签实现，但实验证明这种类型的攻击仍然是可实现的。除了使用简单无源 RFID 标签执行代码注入攻击，还可使用其他能够替代无源标签的设备和其他类型的恶意软件实现访问后端数据库。

### 3.4.3 可用性

在没有做好充足备份的前提下，RFID 系统后端平台的攻击可能会影响整个系统。攻击的切入点同样是来自边缘硬件的信息流。

#### 3.4.3.1 局部 DoS 攻击

泛洪攻击和垃圾邮件攻击会导致 RFID 系统的后台暂时崩溃，或是迟缓、推迟正常的请求。大家能够想到应用阻碍标签，该标签会产生大量尝试性的读取信息阻断阅读器，这些读取请求都会被服务器处理，除非阅读器阻止了此类攻击。此外，开放系统允许不可信的阅读器与服务器间的连接，恶意阅读器会利用此特征发送很多垃圾邮件，从而在某一特定时间产生大量的通信量。

#### 3.4.3.2 全局 DoS 攻击

如果后台运行的程序链遭到 DoS 攻击，导致数据库损坏、服务器因恶意输入而崩溃等，除非事先做好备份，整个系统都会受到影响。如前所述，我们不研究 DoS 攻击对数据库、操作系统或网络造成的影响 ，但需要再次强调的是，RFID 边缘硬件作为攻击的切入点，需要给予适当的保护。

在实际应用中，局部/全局的 DoS 攻击会导致服务器的临时中断，甚至会导致 RFID 系统的完全崩溃。例如，攻击者能够使竞争对象的 RFID 系统崩溃，从而造成巨大的经济损失。

### 3.4.4 威胁评估以及对策

表 3-3 为将展示在后端平台中存在的威胁，实施各类攻击/威胁的成本，以及易受攻击标签的分类。这些攻击都为网络系统中常见的攻击，实施成本不高，对 RFID 应用的影响却很大。预防这种攻击的对策主要包括标准的安全机制，如访问控制系统、入侵检测系统和防火墙。实施成本最高的攻击是信息注入，它需要详细的数据和代码检查，这是一个非常困难和耗时的任务。

**表 3-3 RFID 后端平台的威胁和对策**

| | 攻击 | 潜在损害 | 攻击成本 | 解决方案/方案成本 |
|---|---|---|---|---|
| 保密性 | 隐私侵害/密钥泄露 | 1. 跟踪；<br>2. 获取私人信息 | 中 | 1. 访问控制机制（低、中）；<br>2. 防火墙、入侵检测系统（低、中、高） |
| 完整性 | 信息注入 | 篡改/擦除数据 | 中 | 数据和代码检测（高） |

（续）

| | 攻击 | 潜在损害 | 攻击成本 | 解决方案/方案成本 |
|---|---|---|---|---|
| 可用性 | DoS 攻击 | 1. 服务中断；<br>2. 摧毁 RFID 系统 | 中 | 1. 访问控制机制（低、中）；<br>2. 防火墙、入侵检测系统（低、中、高）；<br>3. 有效的搜索协议（中） |

## 3.5　尚未解决的问题及讨论

本章根据攻击对 RFID 系统中不同层的影响将其分为三类，然后依据每层威胁的特点制定合适的主要安全原则（保密性、完整性和可用性（CIA））。据我们所知，这是首次将主要安全原则用于作为分类 RFID 威胁的标准。为解决威胁问题提供了一种结构化描述和全局性视野。此外，将每一层的攻击及其影响、成本、最容易受到威胁的 RFID 电子标签的类型，以及可能的对策和对策实施成本进行了介绍。

为了抵御 RFID 系统受到的攻击，学者们已提出多种防御机制。有些攻击通过有效地设计协议、加密基元和适当的软件，便可抵御某些攻击，如非法标签阅读和跟踪。然而，有些攻击难以防御，且成本很高，如与硬件相关的篡改攻击和信号衰落。“如何抵御其他多种类型的攻击”是尚未解决的问题。

很明显，需要一种有效的防御机制以保障 RFID 系统的可靠与安全。在本章中，我们提出了一系列用于对抗这些攻击的对策。

**致谢**：感谢 Christos Dimitrakakis 为本章的补充和校对，本章的研究工作获得荷兰科学研究组织（NWO）颁发的“普适计算机技术中的入侵检测”研究津贴，Aikaterini Mitrokotsa 凭借“无线通信入侵检测及其响应”研究得到的代尔夫特 ICT 研究协会（DIRECT）颁发的 ICT 人才奖，并在其资金支持下完成。

## 参 考 文 献

Agrawal D, Archambeault B, Rao JR et al (2003) The EM Side-Channel(s). In: CHES '02: Revised Papers from the 4th international workshop on cryptographic hardware and embedded systems, London, UK. Springer, Heidelberg, pp 29–45

Auto-ID Center (2003) Draft protocol specification for a 900 MHz Class 0 Radio Frequency (RF) Identification Tag. http://www.epcglobalinc.org/standards/specs/900_MHz_Class_0_RFIDTag_Specification.pdf. Accessed 15 Feb 2010

Avoine G (2005) Cryprography in radio frequency identification and fair exchange protocols. PhD thesis, No. 3407, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, December 2005

Avoine G, Lauradoux C, Martin T (2009) When compromised readers meet RFID – extended version. In: Workshop on RFID security – RFIDSec'09, Leuven, Belgium

Avoine G. Oechslin P (2005) RFID traceability: a multilayer problem. In: Patrick A, Yung M (eds) Financial cryptography and data security, 9th International conference, FS 2005, LNCS 3570.. Springer, Heidelberg, pp 125–140

Ayoade J (2007) Privacy and RFID systems, roadmap for solving security and privacy concerns in RFID systems. Comput Law Secur Rep 23:555–561

Berkes J (2006) Hardware attacks on cryptographic devices. Technical Report ECE 628, University of Waterloo

Burmester M, van Le T, de Madeiros B (2006) Provably secure ubiquitous systems: universally composable RFID authentication protocols. In: 2nd IEEE/CreateNet international conference on security & privacy in communication networks (SECURECOMM 2006), Baltimore, MD, USA, IEEE Computer Society, pp 1–9

Clulow J, Hancke GP, Kuhn MG et al (2006) So near and yet so far: distance-bounding attacks in wireless networks. In: Proceedings of the European workshop on security and privacy in Ad Hoc and sensor networks (ESAS'06), Hamburg, Germany, pp 83–97

Collins J (2006) RFID-Zapper shoots to kill. RFID Journal. http://www.rfidjournal.com/article/print/2098. Accessed 15 Feb 2010

de Koning Gans G, Hoepman JH, Garcia FD (2008) A practical attack on the MIFARE classic. In: Grimaud G, Standaert FX (eds) Smart card research and advanced applications, 8th IFIP WG 8.8/11.2 International conference, CARDIS 2008, London, UK, September 8–11, 2008, Proceedings, Series LNCS, Subseries Security and Cryptology, vol. 5189, Springer, Heidelberg

Desmedt Y(1988) Major security problems with the "unforgeable" (Feige-)Fiat- Shamir proofs for identity and how to overcome them. In 6th worldwide congress on computer and communications security and protection (Securicomm'88), Paris, 15–17 March, pp 147–159

European Commission (1995) Directive 95/46/EC of the European parliament and of the council of 24 October 1995 on the protection of individuals with regard to the processing of personal data and on the free Movement of such data. Official Journal of European Communities L.281:31

Garfinkel S, Juels A, Pappu R (2005) RFID privacy: an overview of problems and proposed solutions. IEEE Secur Priv 3(3):34–43

Garcia FD, de Koning Gans G, Muijers R et al (2008) Dismantling MIFARE Classic. In: Jajodia S, Lopez J (eds) ESORICS 2008, LNCS 5283. Springer, Heidelberg, pp 97–114

Han DG, Tagaki T, Kim HW et al (2006) New security problem in RFID systems "tag killing". In: Computational science and its application – ICCSA 2006, workshop on applied cryptography and information security (ACIS 2006), LNCS 3982. Springer, Heidelberg, pp 375–384

Hancke GP (2005) A practical relay attack on ISO 14443 proximity cards. Technical Report, University of Cambridge, Computer Laboratory

Hancke GP, Kuhn MG (2008) Attacks on time-of-flight distance bounding attacks. In: 1st ACM conference on wireless network security, ACM, New York, NY, pp 375–384

Haselsteiner E, Breitfuß K (2006) Security in near field communication (NFC) – strengths and weaknesses. In: Workshop on RFID security, Graz, Austria, 12–14 July 2006, pp 1–9

Heydt-Benjami TS, Bailey DV, Fu K et al. (2008) Vulnerabilities in first generation RFID-enabled credit cards. Financial cryptography and data security, 11th international conference, FC 2007, and 1st international workshop on usable security, USEC 2007, Scarborough, Trinidad and Tobago, February 12–16, 2007, LNCS 4886. Springer, Heidelberg, pp 2–14

Hutter M, Mangard S, Felhofer M (2007) Power and EM attacks on passive 13.56 MHz RFID devices. In: Paillier P, Verbauwhede (eds) CHES 2007, LNCS 4727. Springer, Heidelberg, pp 320–333

Hutter M, Medwed M, Hein D et al (2009) Attacking ECDSA-enabled RFID devices. In: Abdalla M et al (eds) ACNS 2009, LNCS 5536. Springer, Heidelberg, pp 519–534

ISO (International Organization for Standardization) (2005) ISO/IEC 27001: 2005 information technology – security techniques – Specification for an information security management system. http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=42103. Accessed 15 Feb 2010

Juels A (2005) Strengthening EPC tags against cloning. In: Jacobson M, Poovendran R (eds) ACM workshop on wireless security (WiSe'05), LNCS 3982. Springer, Heidelberg, pp 67–76

Juels A (2006) RFID security and privacy: a research survey. In: IEEE J Sel Areas Commun 24(2):381–394

Juels A, Rivest R, Szydlo M (2003) The Blocker Tag: selective blocking of RFID tags for consumer privacy. In: Proceedings of the 10th ACM conference on computer and communication security. ACM New York, NY, USA, pp 103–111

Juels A, Weis S (2007) Defining strong privacy for RFID. In: Proceedings of the 5th annual IEEE international conference on pervasive computing and communications Workshop (PercomW'07), March 19–23, White Plains, NY, pp 342–347

Karygiannis T, Phillips T, Tsibertzopoulos A (2006) RFID Security: a taxonomy of risk. In: Proceedings of the 1st international conference on communications and networking in China (China'Com 2006), October 2006. IEEE Press, pp 1–8

Karygiannis T, Eydt B, Barber G et al (2007) Guidelines for securing Radio Frequency Identification (RFID) systems. Special Publication 800–98, National Institute of Standards and Technology, Technology Administration U.S. Department of Commerce, csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-98/SP800-98_RFID-2007.pdf. Accessed 15 Feb 2010

Kaufman C, Perlaman R, Speciner M (2002) Network security: private communication in a public world, 2nd Edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ

Kfir Z, Wool A (2005) Picking virtual pockets using relay attacks on contactless smartcard. In: Proceedings of the 1st international conference on security and privacy (SECURECOMM'05) . IEEE Computer Society Press, September 5–9, Athens, Greece, pp 47–48

Kim CH, Avoine G, Koeunem F et al. (2008) The Swiss-Knife RFID distance bounding protocol. In: Lee PJ, Cheon JH (eds) International conference on information security and cryptology – ICISC, LNCS 5461. Springer, Heidelberg, pp 98–115

Kocher PC, Jaffe J, Jun B (1999) Differential power analysis. In: Wiener M (ed) Advances in Cryptology – CRYPTO '99, vol. 1666. Springer,, Heidelberg, pp 388–397

Lowry J (2004) Adversary modeling to develop forensic observables. In: 4th annual digital forensics research workshop 2004, Baltimore, MD, pp 204–213

Mirowski L, Hartnett J, Williams R (2009) An RFID attacker behavior taxonomy. IEEE Pervasive Computing, doi:doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MPRV.2009.68

Mitrokotsa A, Rieback MR, Tanenbaum AS (2009) Classifying RFID attacks and defenses. Special issue on advances in RFID technology, Inf Syst Front, Springer. doi: 10.1007/s10796-009-9210-z, July 2009

O'Brien DF (2008) RFID: an introduction to security issues and concerns. In: Wiles J, Rogers R (eds) Techno security's guide to managing risks for IT managers, auditors, and investigators, Syngress Press, Burlington, MA

Oertel B, Wölk M, Hilty L et al (2004) Security aspects and prospective applications of RFID systems. Federal Office for Information Security. www.rfidconsultation.eu/docs/ficheiros/RIKCHA_englisch_Layout.pdf. Accessed 15 Feb 2010

Ohkubo M, Suzuki K, Kinoshita K (2004) Hash-chain based forward-secure privacy protection scheme for low-cost RFID. In: Proceedings of the symposium on cryptography and information security (SCIS 2004), vol. 1, Sendai, Japan, January 2004, pp 719–724

Ohkubo M, Suzuki K, Kinoshita S (2003) Cryptographic approach to "privacy-friendly" tags. In: RFID privacy workshop, MIT, MA

Oren Y, Shamir A (2007) Remote password extraction from RFID tags. In: IEEE Transactions on Computers. 56(9): 1292–1296. doi:10.1109/TC.2007.1050

Peris-Lopez P, Hernandez-Castro JC, Estevez-Tapiador JM et al. (2006) RFID systems: a survey on security threats and proposed solutions. In: Cuenca P, Orozco-Barbosa (eds) PWC 2006, LNCS 4217. Springer, Heidelberg, pp 159–170

Plos T (2008) Susceptibility of UHF RFID tags to electromagnetic analysis. In: Malkin, T.G. (ed.) CT-RSA 2008. LNCS, vol. 4964. Springer, Heidelberg, pp 288–300

Radomirovic S, van Deursen T (2008) Vulnerabilities in RFID protocols due to algebraic properties. In: 3rd Benelux workshop on information and system security, Eindhoven, The Netherlands

Reid D (2006) ePassport "at risk" from cloning. http://news.bbc.co.uk/2/hi/programmes/click_online/6182207.stm. Accessed 15 Feb 2010

Reid JT, Tang T, Gonzalez Nieto JM (2007) Detecting relay attacks with timing-based protocols. In: 2nd ASIAN ACM symposium on information, computer and communications security, Singapore, 2007. ACM New York, NY, USA, pp 204–213

Rieback M, Crispo B, Tanenbaum A (2005) RFID Guardian: A battery-powered mobile device for RFID privacy management. In: Mu Y, Susilo W, Seberry J (eds) Information security privacy, 13th Australian conference, (ACISP 2008), Wollonong, Australia, July 7–9, 2008, Proceedings, LNCS 5107. Springer, Heidelberg, pp 184–194

Rieback M, Crispo B, Tanenbaum A (2006) Is your cat infected with a computer virus? In: Proceedings of the 4th IEEE international conference on pervasive computing and communications (PerComm 2006), IEEE Computer Society, Washington, DC,

Riscure (2006) Privacy issue in electronic passport. http://www.riscure.com/contact/privacy-issue-in-electronic-passport.html. Accessed 15 Fe 2010

SAG Security Assembly Group (2010) SAG RFID tamper proof label. http://www.sag.com.tw/index.php?_Page=product&mode=show&cid=7&pid=32&SetLang=en-us. Accessed 15 Feb 2010

Singlee D, Preneel B (2005) Location verification using secure distance bounding protocols. In: Proceedings of the IEEE international mobile ad hoc and sensor systems conference, Washington, DC, 7–7 November, pp. 840–847

Swedberg C (2006) Broadcom introduces secure RFID chip. RFID Journal, 29 June 2006. http://rfidjournal.com/article/view/2464/1/1. Accessed 15 Feb 2010

Sweeney PJ (2005) RFID for dummies. Wiley, Indianapolis, IN

Tanenbaum AS (2008) Dutch public transit card broken: RFID replay attack allows free travel in the Netherlands, http://www.cs.vu.nl/~ast/ov-chip-card/. Accessed 20 Nov 2009

Tu YJ, Piramuthu S (2007) RFID distance bounding protocols. In: 1st international EURASIP workshop in RFID technology, Vienna, Austria, 24–25 September

Vaudenay S (2007) On privacy models for RFID. In: Proceedings of ASIACRYPT'07, vol. 4833, LNCS. Springer, Heidelberg, pp 68–87

# 第 2 部分　数据管理

# 第 4 章　基于时间和位置的 RFID 事件数据管理和处理

Fusheng Wang，Peiya Liu

**摘要**：传感器和 RFID 技术的进步为人类感知、理解以及管理世界提供了新的动力。RFID 能够精确识别具有唯一 ID 的物品并快速获取数据，因此，RFID 技术被广泛应用于物理对象的识别、定位、跟踪与监控。此外，RFID 技术为数据的管理和处理带来了诸多挑战。RFID 数据具有时态性、面向历史数据、多维性、隐含语义等特点，且 RFID 应用呈多样化。因此，RFID 的数据管理系统和数据存储系统应支持通用数据模型，从而有效地支持物理对象的跟踪和监控等应用，并具备数据的自动理解和处理能力。鉴于此，为便于 RFID 数据的建模和查询，本章开发了一种面向时间和位置信息的数据模型；给出了基于代表性事件和规则的模型架构，自动处理复杂 RFID 事件。该方法具有通用性且易用于各种 RFID 应用环境，因此，极大地降低了 RFID 数据的融合成本。

## 4.1　引言

RFID 是一种非接触式的自动识别和数据捕获技术，利用射频电磁波在阅读器与贴有标签的物品之间通信，达到识别、跟踪和监控被标识物体的目的。标签的 ID 由于采用了 EPC 标准（TDS 2008）进行编码，具有全球可识别性。

RFID 应用的基本操作是观测。观测数据是由阅读器的 EPC、标签的 EPC 和观测时间戳共同组成的一条记录。EPC 是一种编码体系，为条形码的最终的替代。EPC 由代表版本号的头部、制造商信息、物品种类及物品序列号等信息数据组成。RFID 数据具有以下基本特征：

1）时态性和面向历史数据：RFID 的观测数据有时间戳标记。由观测数据生成新的事件或状态的改变。此外，物品的位置信息和包含关系也随时间而变化。因此，RIFD 数据管理系统是具有时态性，支持对跟踪和观测行为/数据的历史时间查询。

2）多维性：除时间戳标记外，RIFD 数据还具有空间特性。所谓空间可以是象征性的位置信息，也可以是物理位置（例如，有源 RFID 或基于 GPS 的 RFID 提

供的物理位置信息)。第三个维度特性是容量，如卡车、货盘、集装箱与物品尺寸之间的关系。EPC 本身具有分层结构，包含：制造商、库存单位和序列号。故优化数据模型、数据存储和查询时，需综合考虑所有维度的 RFID 数据语义，RFID 数据管理系统或数据存储系统也需要考虑 RFID 的多维特性。

3）隐含语义：观测数据包括位置信息的变化、包装箱信息的变化以及特定事件/行为的发生等信息。阅读器读数序列形成的特定模式定义一个复杂事件。但关键问题是如何对来自 RFID 阅读器的读数或复杂事件的语义进行自动理解。RFID 的数据处理应能处理复杂事件并自动翻译语义。

4）多样性：RFID 阅读器分为固定式、移动式阅读器以及 802.11 无线接入式阅读器。标签有只读标签、可读写标签（通过阅读器将数据写入标签）和可写传感器标签（该类标签内置传感器，并通过传感器将数据写入标签)。RIFD 产品的多样性导致数据语义较为复杂，这为建立通用的 RFID 数据模型系统带来又一挑战。

5）高集成成本：RFID 数据需集成到现有的商业应用中，集成成本成为 RFID 技术运用的障碍。RFID 中间件平台需具有高适应性和互操作性，以适用各种 RFID 应用。

本章将阐述典型的基于时间和位置的 RFID 数据模型，并探讨基于代表性事件和规则的 RFID 数据自动传输架构。该方法具有通用性，易于在 RFID 应用中推广。

## 4.2　基于时间和位置的 RFID 数据建模

### 4.2.1　基于 RFID 供应链的应用示例

基于 RFID 的简单供应链示意图如图 4-1 所示，具体流程如下：

1）载有物品的流动小车沿着生产线移动进入每一步生产流程，其中每件物品都附着一支只读标签，每个流动小车都贴有一支可读写标签。RFID 阅读器被部署在每个生产线站点，并把操作步骤信息写入流动小车上的标签。

2）生产线末端的阅读器对经由步骤 1 处理后的每件物品进行完整性检查。若商品完整，则扫描并打包装入集装箱。

3）集装箱被装入仓库货盘。

4）货盘被装入货车，该货车附着可写传感器标签和具有 GPS 功能的阅读器。

5）货车在运输过程中，其携带的阅读器及 GPS 传感器周期性地将自己的精确位置信息和环境信息通过无线电（如手机网络）传输到中央计算机。

6）货盘被卸载并拆装，对集装箱扫描后送到零售商店。

7）物品接受 RFID 阅读器的扫描，并在零售商店的登记簿中登记。

由图 4-1 可知，在从生产线封装到输送至零售商店的整个过程中，标识物品的标签与阅读器之间不断进行数据通信。由于这种原始数据的语义不明确，在将它们用于识别、定位、跟踪和监控物品前，需将其转换成语义明确的数据模型。

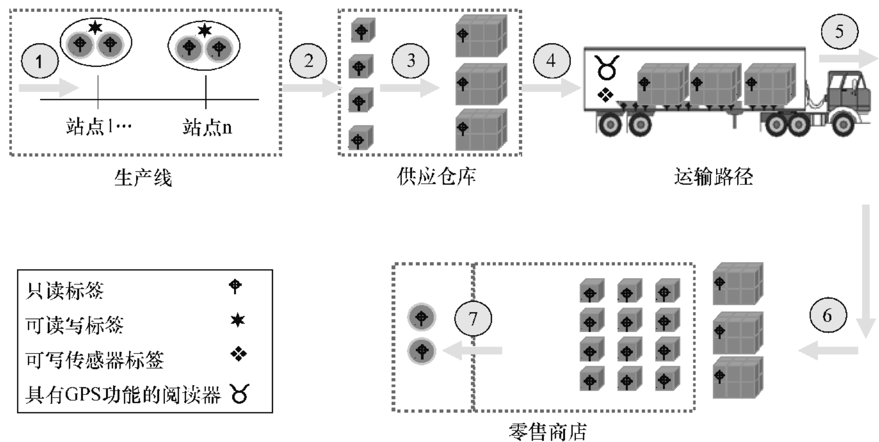



图 4-1　基于 RFID 的供应链应用示例

基于 ER 数据模型（Entity – Relationship Mode）的扩展，本章提出了一种适用于诸多 RFID 应用的通用数据模型。下面对 RFID 应用中的基本实体及实体关系进行介绍。

## 4.2.2　RFID 应用中的基本实体

RFID 应用中包含很多实体，其中与 RFID 直接关联的实体被认为是基本实体。

1）物理对象：标有 EPC 的物理对象，如图 4-1 所示的物品、流动小车、集装箱、货盘和货车。这些物理对象由各自的 EPC 标签唯一识别。

2）阅读器：阅读器使用射频信号与 EPC 标签通信并读取标签数据，或将数据写入可读写标签。阅读器可有多个天线。每个 RFID 阅读器由各自的 EPC 编号唯一识别。

3）传感器：RFID 标签的内置传感器，如温度传感器、运动传感器或位置传感器。传感器感应目标对象并将测量信息写入标签。

4）位置：指物理对象所在的位置，既可以是物理位置，如 GPS 定位点，也可以是逻辑位置。位置的粒度可根据应用需求来定义。此外，一个位置可以包含另一个位置。如图 4-1 所示的位置有生产线站点 1 到站点 $n$，生产线，检测站，供应仓库，供应仓库到零售商店的路径，零售商店和顾客。而在“智能盒子”的应用中，位置仅指“盒内”和“盒外”。

5）交易：指对贴有 EPC 标签的物品对象进行的商业交易。例如，一次结账交易就涉及附着 EPC 阅读器的信用卡的交易（在 RFID 应用中，交易通常是被忽略的。考虑到 RFID 商业应用的完整性，本章把交易作为 RFID 应用的一个实体）。

### 4.2.3　实体关系

一般而言，RFID 应用中的实体是静态的，而实体间的关系可以是静态的，也可以是动态的。静态的实体关系类似于 ER 模型中的传统关系。例如，一个物理对象和它内置的传感器之间的关系是静态的。由于 RFID 数据具有时间特性，RFID 应用中的实体关系大多是动态的、面向历史数据的。各实体间进行信息交互，并生成运动、工作流程、操作以及商业交易等数据信息。这些信息被认为是不同的事件或状态。

实体间交互信息时生成以下事件：

1）观测值：阅读器读取物品标签数据时生成的观测数据。

2）传感器测量值：标签内置的传感器感应到目标对象时生成的传感器测量信息（如温度）。

3）属性值：读写器（如阅读器）将物品的属性值写入标签中时生成的属性值。例如，阅读器把对物品的处理步骤信息写入标签时，生成的属性值便是处理步骤。

4）交易条目：交易物品时生成的交易条目。

除生成事件外，各实体进行交互时也会导致状态的变化。状态的变化意味着历史数据的变化，RFID 数据模型需依据跟踪和监控信息才能很好地捕获目标对象信息。在 RFID 应用中，状态的变化包括：

1）目标对象位置的变化：例如，货车携带货盘离开仓库。

2）目标对象包含关系的变化：例如，集装箱被打包装入货盘。

3）阅读器部署位置的变化：例如，阅读器被部署到新的放置，或者可移动阅读器进入或离开某一个地点。

### 4.2.4　通用的 RFID 数据模型

基于以上讨论，在 RFID 应用中，通过采用各种类型 RFID 标签的组合标签、阅读器和传感器，我们归纳出一种用于捕获信息和关系（包括时间和物理位置信息）的通用数据模型。该模型以 ER 模型为基础，并沿用静态实体和静态关系的建模方法。扩展的新特性如下：

1）时间关系。RFID 实体中有两种类型的时间关系：产生事件的关系和产生状态历史的关系。如图 4-2 所示，分别用虚线和实线代表这两种关系。产生事件的关系用时间戳“timestamp”表示事件的发生时间。产生状态历史的关系用“tstar”和“tend”两个属性关联一个状态的生存周期。

2）嵌套关系：嵌套关系是可读写 RFID 应用的一个新特征。例如，可写传感

器标签内置的传感器记录标签的温度测量历史数据。于是，阅读器观测数据就同时包含了标签的 EPC 和历史温度记录数据。也就是说，观测关系包含嵌套关系即传感器测量历史记录。然而只有一些商业数据库能够直接使用嵌套关系，本章将这种关系拓展到一般性的平面表。

RFID 数据模型如图 4-2 所示，组成架构包括：静态实体表、静态关系表和动态关系表。

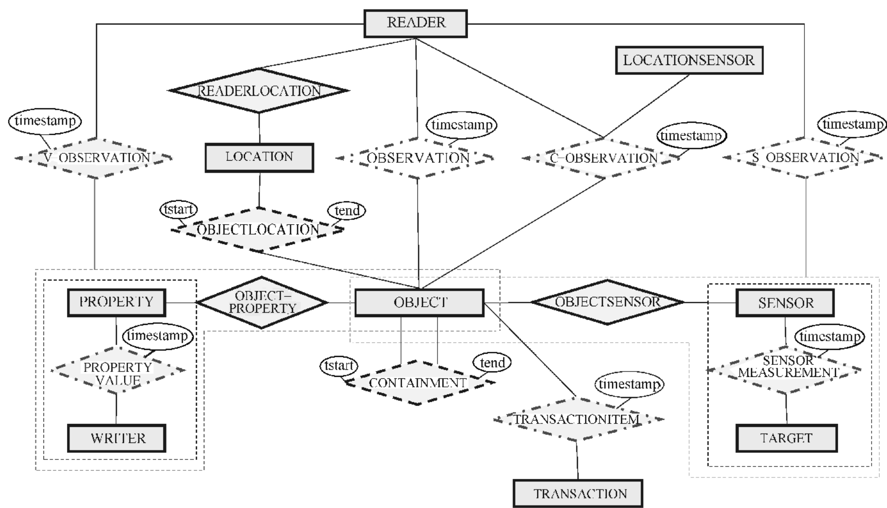



图 4-2　RFID 数据模型

### 4.2.4.1　静态实体表

（1）READER（reader_ epc，reader_ name，description）

READER 表记录了阅读器的 EPC、名称和描述信息，见表 4-1。

（2）OBJECT（object_ epc，object_ name，description）

OBJECT 表包括目标对象的 EPC、名称和描述内容。

**表 4-1　READER 表示例**

| reader_ epc | reader_ name | description |
|---|---|---|
| 1. 100. 1 | R1 | Reader1 |
| 1. 100. 2 | R2 | Reader2 |
| 1. 100. 3 | R3 | Reader3 |

（3）LOCATION（location_ id，location_ name，owner）

LOCATION 表定义一些代表性的跟踪地点位置信息，包括位置的 ID、名称和归属人信息，见表 4-2。

表 4-2　LOCATION 表示例

| location_ id | location_ name | owner |
|---|---|---|
| LOC1 | 生产线 E | 生产商 D |
| LOC2 | 仓库 A | 供应商 A |
| LOC3 | 输送至零售商 C | 运输商 B |

（4）TRANSACTION（transaction_ id，transaction_ type）

由于交易数据为商业明细，此处，我们将其简化为交易 ID 和交易类型的记录。

#### 4.2.4.2　静态关系表

（1）READERLOCATION（reader_ epc，location_ id）

该表包括固定式阅读器的位置信息，如 reader_ epc 和 location_ id 信息。

（2）LOCATION CONTAINMENT（location_ id，parent_ location_ id）

该表记录不同位置间的关系。例如，一个仓库可能包含一个装载区和一个出口。

（3）LOCATIONSENSOR（sensor_ id，description）

该表记录用于定位的位置传感器信息，如 GPS。

（4）OBJECTPROPERTY（object_ epc，property_ id，name）

该表对对象的属性进行描述，是依赖于对象实体的弱实体，包括对象 EPC、属性 ID 和名称信息。

（5）OBJECTSENSOR（object_ epc，sensor_ id，name，type，measurement_ unit，description）

该表描述了传感器的信息，包括携带传感器的对象的 EPC、传感器 ID、传感器名称、传感器类型，描述和测量单元信息。

#### 4.2.4.3　时间关系表

（1）OBSERVATION（reader_ epc，object_ epc，timestamp）

该表记录阅读器读取的原始数据，包括阅读器或天线的 EPC、标签的 EPC 和读取时间戳。

（2）CONTAINMENT（epc，parent_ epc，tstart，tend）

该表记录在什么时间段内（tstart，tend）对象被其父对象包含。表 4-3 给出了 CONTAINMENT 表的示例内容。

表 4-3　CONTAINMENT 表示例

| object_ epc | parent_ epc | tstar | tend |
|---|---|---|---|
| 1. 1. 1. 1 | 1. 1. 2. 1 | 2008 – 11 – 01 10:33:00 | 2008 – 11 – 07 11:00:00 |
| 1. 1. 1. 2 | 1. 1. 2. 1 | 2008 – 11 – 01 10:33:00 | 2008 – 11 – 07 11:00:00 |
| 1. 1. 2. 1 | 1. 1. 3. 1 | 2008 – 11 – 01 10:33:00 | 2008 – 11 – 07 11:59:00 |

表 4-4 OBJECTLOCATION 表示例

| object_ epc | location_ id | tstar | tend |
|---|---|---|---|
| 1.2.3.4 | LOC0 | 2004 – 10 – 10 12:33:00 | 2004 – 10 – 30 17:33:00 |
| 1.2.3.4 | LOC1 | 2004 – 10 – 30 17:33:00 | 2004 – 11 – 01 10:35:00 |
| 1.2.3.4 | LOC2 | 2004 – 11 – 01 10:35:00 | 2004 – 11 – 07 11:00:00 |
| 1.2.3.4 | LOC3 | 2004 – 11 – 07 11:00:00 | 2004 – 11 – 08 15:30:00 |
| 1.2.3.4 | LOC4 | 2004 – 11 – 08 15:30:00 | UC |

（3） OBJECTLOCATION（object_ epc，location_ id，tstar，tend）

该表保存每一个对象的位置信息，包括对象的 EPC、位置 ID 及任一对象在该位置时对应的时间区间［tstart，tend］。表 4-4 所示为 OBJECTLOCATION 表示例，表中 UC 代表“now”。

（4） TRANSACTIONITEM（transaction_ id，epc，timestamp）

该表保存交易信息，包括交易 ID、交易对象的 EPC 和交易发生的时间戳。

（5） C – OBSERVATION（reader_ epc，object_ epc，timestamp，sensor_ id，x，y，z）

阅读器、对象和位置传感器之间进行信息传输时生成物理位置观测关系表。当阅读器读取到对象时，在时间戳范围内通过传感器捕获其物理位置信息。

（6） V – OBSERVATION（vo_ id，reader_ epc，object_ epc，timestamp）

该属性值观测表表示阅读器的观测结果。其中 vo_ id 是每次观测特有的 ID，是连接 V – OBSERVATION 表和 PROPERTYVALUE 表的关键。

（7） PROPERTYVALUE（vo_ id，writer_ id，timestamp，proterty_ id，value）

该表描述历史属性值，包括源 vo_ id、writer_ id、写入时间戳、属性值 ID 和属性值。注意，由于读写器 WRITER 也是阅读器，本章省略了 WRITER 实体。在 PROPERTYVALUE 关系表中用 writer_ id 表示 WRITER 的 ID。通过 V – OBSERVATION 表和 PROPERTYVALUE 表以有效方式表示以下嵌套关系。N – V – OBSERVATION（read_ epc，object_ epc，timestamp，N – PROPERTYVALUE（property_ id，writer_ id，value，timestamp））。该嵌套表详细列举了标签的观测结果，包括阅读器 EPC、目标对象 EPC、观测时间戳及各属性值的嵌套历史信息。RDBMS 支持该嵌套关系。

（8） S – OBSERVATION（so_ id，reader_ epc，object_ epc，timestamp）

传感器测量观测表即阅读器的观测数据。其中，so_ id 是每次观测的 ID，是连接 S – OBSERVATION 表和 SENSORMEASUREMENT 表的关键。

（9） SENSORMEASUREMENT（so_ id，sensor_ id，target，value，timestamp）

该测量表保存传感器测量的历史数据，如源 so_ id、sensor_ id、目标（如温

度)、目标值和传感时间戳。其中，TARGET 实体被省略且目标信息体现在 SENSORMEASUREMENT 表中。

S－OBSERVATION 表和 SENSORMEASUREMENT 表可以有效方式阐述以下嵌套关系。

N－S－OBSERVATION（reader_ epc，object_ epc，timestamp，N－SENSORMEASUREMENT（sensor_ id，target，value，timestamp））。

该嵌套关系表描述标签的观测结果，包括阅读器的 EPC、目标对象的 EPC 和观测时间戳，以及传感器测量历史嵌套关系。

供应链应用中各表间的关系详见图 4-3，其中“X”表示该位置处对应的表格已被填充或更新。

| 表 \ 位置 | 部署 | 生产线 | 仓库 | 零售店(后店) | 零售店(前店) |
|---|---|---|---|---|---|
| 静态实体表 | | | | | |
| READER | X | | | | |
| OBJECT | | X | X | | |
| LOCATION | X | | | | |
| TRANSACTION | | | | | X |
| 静态关系表 | | | | | |
| READERLOCATION | X | | | | |
| OBJECTSENSOR | X | | | | |
| OBJECTPROPERTY | X | | | | |
| 动态事件关系表 | | | | | |
| OBSERVATION | | X | X | X | X |
| S-OBSERVATION | | | | X | |
| SENSORMEASUREMENT | | | | X | |
| V-OBSERVATION | | X | | | |
| PROPERTYVALUE | | X | | | |
| TRANSACTIONITEM | | | | | X |
| 动态状态关系表 | | | | | |
| OBJECTLOCATION | | X | X | X | X |
| CONTAINMENT | | X | X | X | |

图 4-3　供应链应用中各表之间的关系

## 4.3　RFID 数据的查询

本节所提 RFID 模型的显著优势是支持对复杂 RFID 数据的查询。大多数 RFID 查询是时间受限（如历史数据、时间片段）的时间查询，还有位置受限的查询及更复杂的查询，如时间关联和聚合。查询分为两种：RFID 对象跟踪和 RFID 对象监控。RFID 对象跟踪主要用于跟踪 RFID 目标对象，包括丢失的物品；RFID 对象监控用于监控 RFID 目标对象和 RFID 系统的状态。下面通过几个查询实例验证本章中的数据模型产生的影响。

### 4.3.1 RFID 对象跟踪

Q1. 查询 EPC 值为‘EPC’的跟踪对象的历史位置数据。

```
SELECT * FROM OBJECTLOCATION WHERE epc='EPC'
```

Q2. 查询 EPC 值为‘123’的货车的最新温度数据。

```
SELECT m.value, m.timestamp
FROM SENSORMEASUREMENT m,S-OBSERVATION o
WHERE  m.target='temperature'
AND o.object_epc='123'
AND m.so_id = o.so_id AND m.timestamp=(
     SELECT max(m2.timestamp)
    FROM SENSORMEASUREMENT m2
    WHERE m2.so_id = m.so_id)
```

### 4.3.2 丢失 RFID 对象的检测

Q3. 查询 EPC 值为‘MEPC’的目标对象的丢失时间和地点。

```
SELECT location_id, tstart, tend
FROM  OBJECTLOCATION
WHERE epc='MEPC' and tstart =(
    SELECT MAX(o.tstart)
    FROM  OBJECTLOCATION o WHERE
o.epc='MEPC')
```

### 4.3.3 RFID 对象识别

每个 RFID 目标对象都根据 EPC 标识进行识别与区分：

Q4. EPC 值为‘XEPC’的物品被顾客退回，核实该物品是否是从位置 ID 为‘L003’的商店售出。

```
SELECT *
FROM OBJECTLOCATION
WHERE epc='XEPC' AND location_id='L003'
```

### 4.3.4 RFID 对象的时间片段查询

通过指定一个时间片段的时间戳，便可实现任一 RFID 对象的时间片段信息监控和查询，如时间片段发生的位置、包含关系、观测结果和交易信息。

Q5. 查询 T 时刻 EPC 值为‘EPC’的目标对象使用的包装箱。

```
SELECT parent_epc
FROM   CONTAINMENT
WHERE  epc='EPC' AND
       tstart <= 'T' AND tend >= 'T'
```

### 4.3.5　RFID 对象的时间关联查询

时间关联查询通过关联时间限制的多个关系实现信息的检索。

Q6. ‘TEPC’ 集装箱内的肉已变质。何种情况下会将其他集装箱与该集装箱放于同一货盘？

```
SELECT c2.epc
FROM CONTAINMENT c1, CONTAINMENT c2
WHERE c1.parent_epc = c2.parent_epc
AND c1.epc = 'TEPC' AND overlaps(
c1.parent_epc.tstart,c1.parent_epc.tend,
overlapinteval(c1.tstart,c1.tend,c2.tstart,c2.tend))
```

其中，overlaps（ ）为用户定义的标量函数，检测两个区间是否重叠。若重叠，则由 overlapInterval（ ）返回重叠区间。用户定义的标量时间函数可简化时间查询环节。

利用 RFID 数据模型，能够很好地实现对单一类型的 RFID 数据查询，但对于 Harrison 提出的基于事件的模型，则需要八个步骤才能完成以上查询，且大多是繁琐、无效的步骤。

### 4.3.6　RFID 对象间包含关系查询

RFID 包含关系查询是检索 RFID 对象间的包含关系。该查询通常与时间 RFID 查询联合完成。递归的包含关系查询分为两种：RFID 对象同类搜索和 RFID 对象源搜索。RFID 对象同类搜索是指搜索出与某包装箱内的物品同类的所有物品对象；RFID 对象源搜索是指搜索某一目标物品的所有源包装箱对象。Q7 举例说明同类搜索（源搜索通过交换父子属性施行）。

Q7. RFID 同类对象搜索。假设某待识别目标的 EPC 值等于‘PEPC’，找出与该识别目标同类的所有对象。

```
WITH RECURSIVE all_sub(parentepc, epc) AS
  (SELECT parentepc, epc
  FROM CONTAINMENT
  WHERE parentepc = 'PEPC'
  UNION
  SELECT a.parentepc, c.epc
  FROM all_sub a, CONTAINMENT c
  WHERE a.epc = c.parentepc
  )
SELECT*
```

以 RFID 数据模型为基础，还可以指定约束条件和业务智能查询，例如自动发货通知、库存阈值警报和趋势分析。

## 4.4 基于 RFID 复杂事件的 RFID 应用建模

RFID 应用的一个重要目标是通过语义翻译和转换，将物理世界中的实体对象及其行为分别映射为业务中的虚拟对象和虚拟行为。业务逻辑通常被设计为复杂 RFID 事件，一旦观测到复杂 RFID 事件，便执行语义自动翻译。图 4-4 所示为 RFID 事件数据处理过程。其中，原始事件由 RFID 边缘服务器收集并过滤。一旦检测到复杂事件，RFID 规则将 RFID 事件转换为 RFID 数据模型中的数据，或向应用程序发送信息。

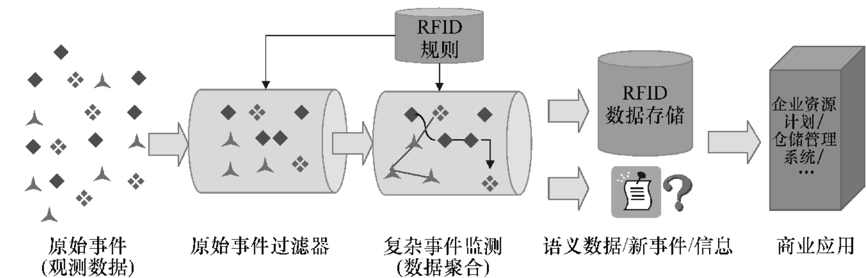



图 4-4 复杂 RFID 事件处理过程

下面列举两个复杂 RFID 事件。

实例 1：数据聚合。在图 4-5a 中，一序列的贴有标签的物品在通过包装传送装置向阅读器 A 方向移动。阅读器 A 扫描每一物品附着的标签并生成观测序列。阅读器 B 对标识集装箱的标签进行扫描并生成另一组观测序列。最后，经过阅读器 A 扫描后的所有标识物品被打包装入标识的集装箱。该事件模式就是由事件 A（由阅读器 A 产生）后紧跟事件 B（由阅读器 B 产生）组成的一个事件序列（见图 4-5b）。

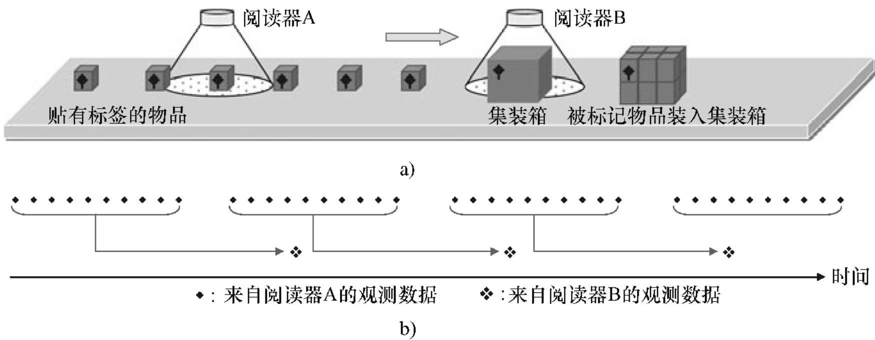



图 4-5 RFID 样本聚合

a）物品打包装入包装箱 b）用于数据聚合的复杂事件

实例 2：实时监控。某公司使用 RFID 标签来识别公司资产项目和员工，且只有授权的用户才能够将资产项目带出公司。当非授权员工或罪犯将贴有 RFID 标签的便携式笔记本电脑带出公司时，RFID 系统将在电脑被带出的 5s 内向保安人员发送报警信号。该事件模式为资产安全事件，其中时间约束为 5s。

我们提出基于规则的方法来解决 RFID 数据自动转换问题。该方法的优势包括：①自动化数据处理；②支持不同应用的可配置规则；③支持数据过滤、数据聚合、数据转换和实时监控等应用。

### 4.4.1　RFID 事件概述

本节主要讨论 RFID 事件的语义和规则，特别是时序上严重受限的 RFID 事件。首先通过扩展传统事件对 RFID 事件形式化描述，然后研究新事件的特性。

事件定义为在某个兴趣时间点发生的事情。一个事件可以区分为简单事件或复杂事件。原始事件发生在某个时间点上；通过一定的规则组合多个原始事件构成一个复杂事件，该事件发生在某个时间段内。

在以下讨论中，我们分别用 E 和 e 表示事件类型和事件实例。默认情况下，用小写字母代表事件实例，例如字母 e 代表事件类型 E 的一个实例。

首先定义图 4-6 中使用的时间维度函数。

1）t_ begin（e）返回事件 e 的起始时间。

2）t_ end（e）返回事件 e 的终止时间。

3）interval（e）返回事件 e 的生存间隔，即“t_ end（e） －t_ begin（e）”。

4）dist（$e_1$，$e_2$）返回事件 $e_1$ 和 $e_2$ 之间的时间距离，即“t_ end（$e_2$） －t_ end（$e_1$）”。

5）interval（$e_1$，$e_2$）返回事件 $e_1$ 和 $e_2$ 的间隔，即“max ｛t_ end（$e_2$），t_ end（$e_1$）｝ －min ｛t_ begin（$e_2$），t_ begin（$e_1$）｝”。

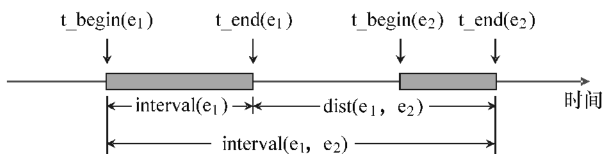



图 4-6　事件表达中的函数说明

以下函数为空间维度函数：

1）s_ begin（e）返回事件 e 的 GPS 初始定位。

2）s_ end（e）返回事件 e 的 GPS 终止定位。

3）s_ interval（e）返回事件 e 的 GPS 初始定位与终止定位的距离间隔，即

“|s_end(e) − s_begin(e)|”。

4）s_ dist（$e_1$，$e_2$）返回事件 $e_1$ 和 $e_2$ 之间的 GPS 距离，即“s_end($e_2$) − s_end($e_1$)”。

5）s_ interval（$e_1$，$e_2$）返回事件 $e_1$ 和 $e_2$ 的间隔，即“max{s_end($e_2$), s_end($e_1$)} − min{s_begin($e_2$), s_begin($e_1$)}”。

### 4.4.2　原始 RFID 事件

在 RFID 应用中，阅读器和贴有标签的目标对象之间的一次数据交互被定义为一个原始事件，主要分为无物理位置信息的事件和有物理位置信息的事件。原始事件用 observation（r，o，t）或 c − observation（r，o，t，s，g）表示，其中 r 为阅读器的 EPC，o 为目标对象的 EPC，s 为传感器 ID，g 为 GPS 位置，t 为事件发生的时间戳。例如，observation（‘$r_1$’，o，t）表示 EPC 为‘$r_1$’的阅读器产生的原始事件。原始事件具有瞬时性，即任一原始事件 e，其 t_ begin（e）等于 t_ end（e）。同时，原始事件具有原子特性，即原始事件要么一定发生，要么根本不发生。

原始事件类型的定义

尽管原始事件就是 RFID 阅读器的观测数据，根据阅读器 EPC 和标签 EPC 的不同将原始事件进行了不同分类。首先介绍两个用户定义的原始事件函数，利用这些函数可定义不同的原始事件。

group（r）：多个阅读器可以被部署在同一物件组以执行相同的功能。

type（o）：使用用户定义的提取函数或映射函数可从 EPC 值中提取事件类型。例如，type(‘8E5YUK691I0J60KDN’) = ‘laptop’，type(‘UH7JEFU63MAW6I610’) = ‘pallet’。

有了以上函数，可以定义原始事件类型。例如，原始事件类型 E 的定义如下：

E = observation(r, o, t), group(r) = ‘g1’, type(o) = ‘case’

即，由‘g1’物件组阅读器对目标对象类型‘case’进行观测得到的观测数据定义为 E 类原始事件。

如果没有明确指定 group（ ）和 type（ ）函数，默认的原始事件类型是一组阅读器本身，即

E = observation(‘r’, o, t)

E = observation(‘r’, o, t), group(r) = ‘r’

### 4.4.3　复杂 RFID 事件

利用事件构造函数将复杂事件的各组成事件构造为一个复杂事件。RFID 事件构造有两类：基于时空的和非基于时空的事件构造函数。时空性事件构造函数包含了各组成事件的顺序和时间约束条件，或者两者都包括。对于非时空性事件构造函

数定义的复杂事件，无需考虑组成事件的顺序便可进行检测。而时空性事件构造函数定义的复杂事件，须充分考虑各组成事件的顺序、时间约束条件，或者同时考虑两者，才能被检测出来。

#### 4.4.3.1　基本的非时空性复杂事件构造函数

OR（∨）：当事件 $E_1$ 或 $E_2$ 发生时，发生 $E_1$ 与 $E_2$ 的分离（$E_1 \vee E_2$）。

AND（∧）：当事件 $E_1$ 和 $E_2$ 均发生且不考虑事件发生的先后顺序时，出现 $E_1$ 与 $E_2$ 的结合。

NOT（¬ 或 !）：如果事件 E 不发生，则出现 E 的否定事件（¬ E 或! E）。

否定事件本身并非自发的，它们通常需要与其他事件或时间约束条件相结合，又或者同时结合两者时才会发生。本章只讨论以上三个非时间性复杂事件的构造函数，该函数能够表示一般的非时间性事件。例如，ANY 和 ALL 事件均可用以上函数表示：

事件 $E_1$，$E_2$，...，$E_n$ 都发生且与事件发生的先后顺序无关，则 ALL（$E_1$，$E_2$，...，$E_n$）发生，即 $E = E_1 \wedge E_2 \wedge ... \wedge E_n$。

事件 $E_1$，$E_2$，...，$E_n$ 中的任意 m 个事件发生且不考虑事件发生的先后顺序（$m \leqslant n$），则 ANY（m，$E_1$，$E_2$，...，$E_n$）发生，即 $E = ((E_1 \wedge E_2 \wedge ... \wedge E_m) \vee ... \vee (E_{n-m+1} \wedge E_{n-m+2} \wedge ... \wedge E_n))$。

#### 4.4.3.2　时空性复杂事件构造函数

SEQ（;）：假设事件 $E_2$ 在事件 $E_1$ 结束后发生。给定 $E_1$ 已经发生，当 $E_2$ 发生时，事件 $E_1$ 和 $E_2$ 发生的顺序为 SEQ（$E_1$; $E_2$）。

TSEQ（:）：假设事件 $E_1$ 已发生且事件 $E_1$ 和 $E_2$ 发生的时间区间属于 $[\tau_1, \tau_u]$，当 $E_2$ 发生时，$E_1$ 和 $E_2$ 的时间距离约束序列为 TSEQ（$E_1$; $E_2$，$\tau_1$，$\tau_u$），即 $\tau_1 \leqslant \mathrm{dist}(E_1, E_2) \leqslant \tau_u$。

$SEQ^+$（$;^+$）：利用非周期序列算子 $SEQ^+(E)$，我们可以表达事件类型 E 的一次或多次发生。

$TSEQ^+$（$;^+$）：距离约束非周期序列算子 $TSEQ^+(E, \tau_1, \tau_u)$ 表示一个事件表达另一事件或事件 E 的多次发生，这样任意两个事件 E 发生的时间区间属于区间 $[\tau_1, \tau_u]$。

WITHIN：事件 e（属于事件类型 E）发生且 interval（e）$\leqslant \tau$，则区间受限事件 WITHIN（E，$\tau$）发生。

S－WITHIN：事件 e（属于事件类型 E）发生且 s_ interval（e）$\leqslant \tau$，则区间受限事件 S－WITHIN（E，$\tau$）发生。

#### 4.4.3.3　时空约束条件

时空性事件构造函数是 RFID 的应用所必需的。许多时空性事件构造函数使用时间约束条件来描述时空性复杂事件。距离约束包括时间序列 TSEQ 中两事件间的

最小时间距离（$\tau_1$）和最大时间距离（$\tau_u$）；间隔约束是指 WITHIN 或 S－WITHIN 构造函数中一个复杂事件的最大时间间隔值（$\tau$）。

以往的工作已经从不同的角度对时间约束条件进行了研究。但这些时间约束条件要么与 RFID 事件无关，比如基于时间戳的约束条件；要么不足以表达一个 RFID 事件，如间隔约束条件。Hinze 提出了具有最大时间距离的复合事件。本章则采用更具有通用性且综合了时间约束的上下界，然后应用于非周期序列事件（二进制序列事件除外）。

#### 4.4.3.4 复杂事件举例

实例 1 中的复杂事件如下：

```
TSEQ(TSEQ+(E1, τl1, τu1); E2, τl2, τu2),
where event types E1 = observation(rA, o1, t1),
group(rA)='rA' and E2 = observation(rB, o2, t2),
group(rB)='rB'.
```

实例 2 中的复杂事件如下：

```
WITHIN(E1 ∧ ¬ E2, 5sec),
where E1 =observation('r2', o1, t1), type(o1)=
'laptop' and E2=observation('r2', o2, t2),
type(o2)='superuser'.
```

## 4.5 基于规则的 RFID 事件数据处理

### 4.5.1 RFID 规则

基于对事件的上述阐述，我们对 RFID 规则进行定义。首先介绍 RFID 规则的语法，如下所示：

```
CREATE RULE rule_id, rule_name
ON event
IF condition (optional)
DO action1; action2; ...; actionn
```

其中，rule_ id 和 rule_ name 分别代表规则的唯一 ID 和名称；event 是规则的事件，condition 是用户定义的布尔函数和 SQL 查询的布尔组合；$action_1$，$action_2$，...，$action_n$ 是行为的有序清单，其中每个行为为 SQL 语句或用户定义的进程，例如发出警报信息。事件的别名定义形式如下：

DEFINE event_ name = event specification

RFID 规则支持对 RFID 数据处理，如数据过滤、数据转换、数据聚合和实时监控。

### 4.5.2　数据转换和聚合

RFID 规则的重要价值在于数据转换和聚合以声明的方式得到简化。利用数据转换和聚合的规则集，RFID 观测数据可被自动翻译，并被映射成相应的数据模型及存储到 RFID 数据库中。

规则 1　位置转换：阅读器 r 的任一观测行为都会改变被观测对象 o 的位置信息，并将被观测对象的历史位置更新为当前位置。位置转换是通过首次更新被观测对象的最后一个位置的历史为当前时间戳 t 的终止位置来实现的，然后为被观测对象插入一个新的位置 loc，位置 loc 的起始时间戳是 t，结束时间戳为当前时间“UC”。

```
CREATE RULE r1, location_change_rule
ON observation(r, o, t)
DO
UPDATE OBJECTLOCATION SET tend = t
WHERE object_epc = o and tend = “UC”;
INSERT INTO
OBJECTLOCATION VALUES(o, “loc”, t, “UC”);
```

规则 2　包含关系聚合：如果某读数序列的组成由阅读器 A 的距离约束的非周期读数序列后紧接阅读器 B 的读数序列（与阅读器 A 的读数序列不同）（见图 4-5），这意味着被阅读器 A 观测过的对象 o1 正被打包装入由阅读器 B 观测的对象 o2。然后由规则将新的包含关系插入 OBJECTCONTAINMENT 表。

```
DEFINE E1 = observation(“A”, o1, t1)
DEFINE E2 = observation(“B”, o2, t2)
CREATE RULE r2, containment_rule
ON TSEQ(TSEQ+(E1, 0.1sec, 1sec); E2, 10sec, 20sec)
DO
BULK INSERT INTO CONTAINMENT
VALUES (o2, o1, t2, "UC")
```

关键字“BULK”将所有被包含对象强制执行批量插入，插入到包装箱中。

### 4.5.3　实时监控

RFID 规则也可有效用于实时监控，以资产监控为例。

规则 3　实时监控：在实例 2 中，如果安装在办公大楼出口处的阅读器“r4”检测到贴有标签的笔记本电脑，但在规定的时间阈值内（假设阈值为 5s）并没有检测到任何授权用户（授权用户可以将资产项目带出公司），这意味着笔记本电脑被非法带出，于是 RFID 系统向保安人员发出报警信号。

```
DEFINE E4 = observation("r4", o4, t4), type(o4) = "laptop"
DEFINE E5 = observation("r4", o5, t5), type(o5) = "superuser"
CREATE RULE r3, asset_monitoring_rule
ON WITHIN(E4 ∧ ¬E5, 5sec)
DO send_alarm
```

规则 4 实时定位监控：假设阅读器“r5”用于银行运钞车的监控，如果运钞车离开目的地（银行）的距离超出安全距离（假设为 5mile），此时系统将向保安人员发送报警信号。

```
DEFINE E6 = c-observation("r5", o6, t6, sensor1, gps1),type(o6) = "car"
DEFINE E7 = c-observation("r5",o7, t7, sensor2, gps2),type(o7)
   ="bank"
CREATE RULE r4, position_monitoring_rule
ON S-WITHIN(E6 ∧ E7, 5miles)
DO send_alarm
```

### 4.5.4 RFID 规则的事件检测

RFID 规则在某些方面与传统的 ECA（Event - Condition - Action，事件 - 条件 - 动作）规则不同。RFID 事件有时空约束条件，不同事件间存在距离约束，单个事件存在事件间隔约束，这些约束需要在事件检测阶段而不是条件检测阶段进行检测。从广义上说，RFID 事件可通过时间约束检测出否定事件。RFID 规则的行为操作通常不会产生新的原始事件，从而更具可扩展性。

通过聚合多规则得到的复杂事件，我们开发一种基于图形化界面的事件处理机。在该事件处理机中，时间和位置约束被模型化为一级构图，且在事件检测阶段被检测。当有新的事件进入时，它们自下而上地传播自发事件，从上而下地传播非自发事件。所谓非自发事件是指事件本身无法检测到自身的发生，除非事件已过期或被明确查询。

非自发事件（如否定事件）不能被其子事件检测到。在这种情况下，我们在这些事件的终止时刻将伪事件插入输入事件队列。伪事件是特殊的人造事件，用于查询在特定的时间段是否发生非自发事件，并计划于事件节点的终止时间发生。我们可以确定哪些事件节点需要为目标事件以从上而下的方式产生伪事件。

## 4.6 相关工作

RFID 技术已出现多年并为数据管理带来新的挑战。然而，关于有效地对 RFID 数据建模的研究却极少。Harrison 等人利用一些相关的关系总结了 RFID 数据的特点用于对数据进行表示。在该模型中，RFID 数据被建模为事件，如此，历史状态和业务流程的时序语义都变为隐含语义。但该数据模型不支持复杂的查询，如

RFID 对象的跟踪和监控。查询通常被分成若干间接的、无效的和非固有的步骤。当前的 EPC 标准组织——EPC Global，定义了 RFID 数据网络和生成数据，但是 RFID 数据的建模不是 EPC Global 工作组的工作。Gonzalez 等人提出了处理对象转换的数据库模型和一种处理路径选择查询的方法。在路径选择查询方法中，路径的聚合测量需要多个节点。Lee 和 Chung 提出了路径编码和存储方案将供应链中产品的查询信息转换成数据流信息并编码。Wang 和 Liu 对用于 RFID 应用的数据模型进行了探讨，提出了基于事件和基于状态的两种类型的历史数据。然而，该模型只适用于只读标签的固定式阅读器，不适用于其他的应用情景。

最近，各大 IT 供应商已经或正在推出尖端的 RFID 平台，包括 SAP Auto - ID 基础设施、Oracle 传感器边缘服务器、IBM WebSphere RFID Premises 服务器、Sybase RFID 解决方案、Microsoft RFID 中间件、UCLA WinRFID 中间件等。这些平台为 RFID 数据的收集提供了一个通用的接口，并将数据传送至应用程序。然而，这些平台系统只适用于原始事件和预定义的 RFID 事件，或者将这两种事件简单关联得到的事件。这样，可根据用户的应用需求定义数据模型并检测复杂事件。

近年来，主动数据库语境中的事件处理被广泛研究。这些系统通常将 ECA 规则用于事件处理。RFID 事件在很多方面都不同于传统事件，包括高度的时间特性和非自发事件。因此传统的事件检测系统难以支持 RFID 事件检测。Bai 等人提出了扩展流语言以便支持 RFID 事件，但没有提及实现事件处理的方法。

## 4.7　结论

本章通过结合 RFID 应用的语义开发出了一个综合的面向时间与位置的 RFID 数据模型。该数据模型的显著优势是通过代表性的查询保证有效地对目标对象进行跟踪和追踪。然后，提出了基于声明性事件和规则的架构，使用对时间敏感的 RFID 复杂事件检测机实现 RFID 数据处理的自动化，如 RFID 数据过滤、转换、聚合和监控处理。以上方法具有通用性且易于被植入各种 RFID 应用中，极大地降低了 RFID 数据的管理和聚合成本。

## 参考文献

Bai YJ, Wang F, Liu P, Liu S (2007) RFID data processing with a data stream query language. In: ICDE, Istanbul, 15–20 April, pp 1184–1193

Bornhoevd C, Lin C et al (2004) Integrating Automatic Data Acquisition with Business Processes – Experiences with SAP's Auto-ID Infrastructure. In: VLDB, Toronto, Canada, August 31 – September 3, pp 1182–1188

Cisco Location Solution Overview (Cisco Location 2009) http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns340/ns394/ns348/ns753/net_brochure0900aecd8064fe9d_ps6386_Products_Brochure.html. Accessed 30 Nov 2009

Chakravarthy S, Mishra D (1994) Snoop: an expressive event specification language for active databases. Data Knowl Eng 14(1):1–26

Chawathe SS, Krishnamurthy V, Ramachandrany S, Sarma S (2004) Managing RFID data. In: VLDB, Toronto, Canada, August 31 – September 3, pp 1189–1195

EPC Tag Data Standards (TDS) (2008) Version 1.4. EPCGlobal technique report. http://www.epcglobalinc.org/standards/tds/tds_1_4-standard-20080611.pdf. Accessed 30 Nov 2009

EPCGlobal (2009) The EPCglobal network and the global data synchronization network (GDSN). http://www.epcglobalinc.org/about/media_centre/EPCCglobal_and_GDSN_v4_0_Final.pdf. Accessed 30 Nov 2009

Gatziu S, Dirtrich KR (1994) Detecting composite events in active databases using petri nets. In: Workshop on research issues in data engineering: active database systems. Houston, TX, USA, 14–15 February, pp 2–9

Gehani NH Jagadish HV, Shmueli O (1992) Composite event specification in active databases: model and implementation. In: VLDB

Gonzalez H, Han J, Li X, Klabjan D (2006) Warehousing and analyzing massive RFID data sets. In: ICDE, Atlanta, Georgia, USA, 3–7 April, pp 83–93

Harrison M (2003) EPC information service – data model and queries. Auto-ID Center Technical Report

Hinze A (2003) Efficient filtering of composite events. In: BNCOD, Coventry, UK, 15–17 July, pp 207–225

IBM Websphere Premise Server (2009) http://www.ibm.com/software/integration/premises_server. Accessed 30 Nov 2009

Lampe M, Flörkemeier C (2004) The smart box application model. International conference on pervasive computing, Linz, Vienna, Austria, 18–23 April

Lee C, Chung C (2008) Efficient storage scheme and query processing for supply chain management using RFID. In: SIGMOD

Motakis I, Zaniolo C(1997) Formal semantics for composite temporal events in active database rules. J Syst Integrat 7:291–325

Oracle Sensor Edge Server (2009) http://www.oracle.com/technology/products/sensor_edge_server. Accessed 30 Nov 2009

Sybase RFID Anywhere (2009) http://www.sybase.com/products/mobilesolutions/rfid_anywhere. Accessed 30 Nov 2009

UCLA WinRFID (2009) http://winmec.ucla.edu/rfid/. Accessed 30 Nov 2009

Wang F, Liu P (2005) Temporal management of RFID data. In: VLDB, Trondheim, Norway, 30 August–2 September, pp 1128–1139

Wu E, Diao Y, Rizvi S (2006) High-performance complex event processing over streams. In: SIGMOD, Chicago, IL, 27–29 June, USA, pp 407–418

Widom J, Ceri S (1996) Active Database Systems: Triggers and Rules for Advanced Database Processing. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA

# 第 5 章　RFID 数据流的事件管理：快速消费品供应链管理

John P. T. Mo，Xue Li

**摘要**：RFID 是一种利用射频波实现标识物体和阅读器之间传输信息的无线通信技术。这种技术为物理世界的物品连接到“物联网”世界创造了巨大的机会。对于快速消费品行业而言，数十亿的 RFID 标签被投入 RFID 应用。几乎所有物品都可通过标签标记实现物品跟踪和识别，这为网络容量和 RFID 事件及数据处理的可扩展性能带来全新的挑战。本章以澳大利亚的两个国家示范项目作为研究案例，提出了能够实时处理海量 RFID 数据流并自动转换物理 RFID 观测数据为业务层事件的事件管理架构。该模型能够处理各种时间事件，例如时间约束条件下的简单事件和复杂事件；该模型可以通过数据管理体系来实现，因为数据管理体系可实现全球 RFID 项目的跟踪、快速及大规模部署。

## 5.1　引言

RFID 是一种利用射频波在标识物体和无可见光线阅读器之间传输信息的无线通信技术。RFID 问世已有半个世纪，为连接物理世界的物品到“物联网”世界创造了巨大的机会。未来几年，数十亿的 RFID 标签将在全球投入使用。通过为所有物品附着一个 RFID 标签实现物品的跟踪和识别。

近期召开的 RFID 技术国际会议和研讨会（包括 RFID IEEE 国际会议[一]和 RFID 技术国际研讨会[二]）强调了 RFID 技术发展的重要性。RFID 技术对商业和社会的发展产生了重大的影响，正蓄势待发并有很大的应用价值。

目前，快速消费品（Fast Moving Consumer Good，FMCG）行业仍然在使用电子数据交换（Electronic Data Interchange，EDI）技术进行通信。EDI 的工作原理如下：首先通过电子方式向供应链中的成员（例如，供应商、进货商和零售商）发送采购订单信息；供应链成员将采购订单信息下载到手持式设备中，并由仓库操作

---

[一] httt：//www. ieee - rfid. org/2007/。

[二] http：//www. iceis. org/workshops/iwrt/iwrt2007 - cfp. html。

员创建相应的系列货运包装箱代码（Serial Shipping Container Code，SSCC）标签；扫描后的 SSCC 标签及商品条形码以提前发货通知（Advance Shipping Notice，ASN）的形式被发送至零售商，告知零售商即将发来的货物种类；货物被送至零售商，零售商重新扫描 SSCC 标签进行包装信息验证；验证完毕，零售商向供应商交付货款。基于 EDI 的处理是劳动密集型并且非常耗时的过程，所以难以集成到大多数的企业管理系统。

无源器件因其成本低在 FMCG 行业有前景的 RFID 应用中被广泛采用。但是，无源 RFID 技术存在信号干扰、标签阅读速度慢、内存有限等问题。为探讨无源 RFID 技术在 FMCG 供应链中的应用方法，澳大利亚通过两个国家示范项目验证了采用 RFID 技术能有效提高业务效率。第一个项目是国家电子产品代码（Electronic Product Code，EPC）网络示范项目（Network Demonstrator Project，NDP），追踪供应链上的货盘和包装箱。EPC 是由 EPCglobal[㊀] 管理的一种标识标准，该标准使用了特定类型的无源 RFID。另一个项目为 NDP 的扩展项目，主要解决 EPC 数据的应用问题以支持无纸化交付。欧洲开发了“建设全球环境的无线射频识别解决方案（BRIDGE）”项目，用于解决 FMCG 行业中 EPCglobal 网络的实施障碍。随后，欧洲议会委员会积极开展行动，制定相关法律管理 RFID 业务及数据管理。EPCglobal 全球网络标准为以上两个项目中互联网上的物体追踪和跟踪提供了有效的架构。

RFID 的广泛应用使得数亿的 RFID 标签被用于供应链的管理、环境监控、药品谱系跟踪、行李监控以及移动物体的全球追踪，为网络容量和 RFID 事件及数据处理的可扩展性能带来新的挑战。随着 RFID 标签的大规模应用，RFID 网络的容量和数据处理能力问题也越来越复杂，导致了 RFID 的漏读和误读、RFID 数据的冗余、海量的 RFID 数据。基于空间和时间的事件管理都是典型的数据管理，并且是大规模 RFID 系统应用所需的后盾支撑。

本章将以澳大利亚的两个国家项目为研究案例，介绍时间约束条件下用于处理简单和复杂事件模式的数据流系统模型。该模型能够解决 RFID 技术带来的相关难题，并且在实现全球 RFID 项目跟踪的 RFID 数据管理架构中进行实施，实现快速大规模的 RFID 部署。

## 5.2　FMCG 案例研究

澳大利亚的两个国家项目均以 EPCglobal 网络标准为基础。EPCglobal 为因特网上的物品跟踪和追踪提供了有效的体系结构。但该标准并没有就其实现问题为大众提供引导性大型商业项目。因此，实践者们仅能根据他们有限的部署经验来摸索和

㊀ http：//www. epcglobalinc. org/。

学习。为获得第一手的 EPCglobal 网络标准实践经验，16 个工业和 4 个非工业合作伙伴在墨尔本和悉尼联合开发这两个项目。

EPC NDP 国家示范项目，旨在验证使用 EPC 网络进行信息安全共享所带来的商业利益、为交易双方提供认证和加强整个供应链（包括多个企业间的交易）上物品运动状态的跟踪和追查能力。为促进组织间的交易和供应链的管理，NDP 率先使用了 EPCglobal 定义的协议栈。当检测到给定的标签时，该项目采用的 EPCglobal 模型定义了一个权威的号码注册表，通过查询该注册表可以建立一条访问某全球服务器中详细信息的链接，而不是让每家企业都存储这些信息并与未来的合作伙伴交流。

感兴趣的物品被分配一个注册号：系列全球贸易产品与服务代码（Serial Global Trade Item Number，SGTIN）用来识别产品；全球可回收资产标识代码（Global Returnable Asset Identifier，GRAI）用于识别货盘；SSCC 用于识别单元货物。将这些产品用于商业交易的关键过程是“拣选货位”（见图 5-1）。产品的 EPC 首先被 RFID 阅读器读取，然后在配送中心被打包密封。通过查询生产商的门户网站，FMCG 供应链上的所有合作伙伴均可共享这些读数数据。



图 5-1　确保 EPC 货物间关系的 FMCG “拣选货位” 过程

NDP 的扩展项目是关于商业信息集成的国家 EPC 网络示范项目。该项目旨在开发一种无纸化系统以减少人为失误（如数据输入错误）和纠错成本。这一目标的实现，要求相关参与企业将各自的商务系统融合在一起。NDP 扩展项目尤其重视资产管理，如货盘资产的管理（见图 5-2）。在澳大利亚，超过 1000 万亿的货盘正在市场上流通，存在巨大的资产丢失损失，而资产的管理开销又非常大。

NDP 扩展项目联盟已经在墨尔本和悉尼的六个地点对货盘调度和支付交易进




图 5-2 侧面贴有标签的货盘

行了一系列无纸化测试，且实现了 18.1% 的整体效益。由于节省了人工数据输入、验证和对账等重要步骤，大大降低了人力成本，货盘供应商尤其受益。此外，无纸化测试在库存的准确率和质量方面也取得显著成效。例如，信息和实时处理的准确性及透明度对其他物流业务（如规划和预测）都产生了巨大的影响。

在国家示范项目中取得的经验表明，FMCG 供应链中的交易是复杂事件并且以不同的形式发生。RFID 标签的移动性、物品所有权的变化、工作流程的变化、交易属性的变化及事件类型的变化都会引起 RFID 网络中数据的变化。因此，无论是 RFID 数据的准确性还是获取数据的背景都应该进行妥善管理，即建立一套与 RFID 事件相关联的信息的完整集合。这就要求 RFID 数据管理系统能够满足 FMCG 供应链中的企业在不同的表示层之间轻松地跟踪和查询 RFID 数据。

## 5.3 事件管理原则

采用了 RFID 标签的 FMCG 供应链系统的主要任务是事件管理。事件是物理世界中发生在特定的时间和地点的事件，并被记录在 RFID 数据管理系统中。根据应用业务的不同，RFID 事件被分为不同的类型。我们采用事件记录的数据结构，这些事件记录来自 EPC 信息服务（EPC Information Service，EPCIS）系统。也就是说，每种核心事件类型都可利用以下四个维度对任意 EPCIS 事件进行表示：

1）对象或其他实体作为事件主体。

2）日期和时间。

3）事件发生的地点。

4）业务背景。

以上四个维度通常代表 RFID 标记物的信息：“发生的事件、发生日期和时间、发生地点以及发生的原因”。原始事件是 RFID 阅读器的观测数据。每个原始事件都有一个时间戳，代表 RFID 阅读器读取 RFID 标签的时间点。复杂事件是在起始时间和结束时间组成的时间区内发生的多个原始事件的组合。

RFID 事件的某些特点是传统事件所不具备的。EPCglobal 规定的 RFID 应用层事件标准（Application Level Event，ALE）具有处理原始 RFID 事件的一个通用接口，并强调了 RFID 数据流处理的重要性。RFID 数据具有时间性、动态变化、大容量并携带隐含语义等特性。为满足这些特性，需要建立通用的 RFID 数据处理架构实时处理大量 RFID 数据流，并自动转换 RFID 阅读器的观测数据为连接到商业应用的业务数据。在各种 RFID 应用中，事件检测发挥了重要作用。近年来，一些学者提出了若干事件处理系统，对 RFID 阅读器读数的实时数据流执行复杂事件查询。通过这些事件处理系统的复杂事件查询可完成事件的过滤和关联，便于与特定的事件模式相匹配，并将相关事件转变为外部业务应用所需的高级商业事件。然而，大部分 RFID 业务都对目标事件进行了时间约束。只有在规定时间内或限制时间后发生的事件才是有效事件。例如，机场的行李托运，应该在航班起飞前 30 分钟将行李送至特定地点进行安全检查。然而，目前大多数的事件处理系统很大程度上忽视了时间约束问题的存在，变成了一个遗留的独立的应用设计问题。对时间约束问题的完整处理对策可参考 Li 等人的相关研究。

不管是原始事件还是复杂事件，为处理各种基于时间约束的事件，急需开发一种新的 RFID 事件管理系统。RFID 事件处理是实现 RFID 应用的关键。RFID 数据流的复杂事件模型代表的可能是重要的业务活动。本章将介绍一种新的理论和方法，该方法可用于 RFID 应用中复杂事件的数据流管理。

## 5.4　RFID 数据管理要求

结合两个国家示范项目的实践经验，我们为一个有效的 RFID 数据管理系统定义了若干关键要求。需要注意的是，一条 EPCIS 记录中的传统日志是一个随机事件流，如图 5-3 所示。

```
urn:epc:id:sgtin:49871766.20144.3，Fri Feb 10 12:52:23 EST 2006，Metcash Pick Face Smartshelf 1，
urn:epc:id:sgtin:49024300.24741.19，Fri Feb 10 12:43:00 EST 2006，Metcash Pick Face Smartshelf 2，
urn:epc:id:sgtin:49024300.14979.10，Fri Feb 10 12:52:43 EST 2006，Metcash Pick Face Smartshelf 2，
urn:epc:id:sgtin:49871766.201443.，Fri Feb 10 12:52:30 EST 2006，Metcash Pick Face Smartshelf 2，
urn:epc:id:sgtin:49024300.14975.17，Fri Feb 10 12:52:30 EST 2006，Metcash Pick Face Smartshelf 3，
urn:epc:id:sgtin:49024300.14979.10，Fri Feb 10 12:42:19 EST 2006，Metcash Pick Face Smartshelf 3，
urn:epc:id:sgtin:49024300.14979.10，Fri Feb 10 12:42:18 EST 2006，Metcash Pick Face Smartshelf 4，
```

图 5-3　Metcash 智能货架记录

图 5-3 所示的数据流存在于该公司的所有 EPCIS 记录中。由于供应链（如 FM-CG 供应链）的运营是面向全球的，于是 EPCglobal 的核心服务被用于数据分享。而 EPCIS 的使用，可实现所有地点发生的事件数据的分享和交换。成功的关键就在于恰当地构建 RFID 数据以支持这些服务。

### 5.4.1 RFID 数据质量

RFID 数据管理的整个过程以数据为中心。由于 RFID 设备可能会产生错误，增加了 RFID 数据的预处理和清洗流程的难度。相比其他传统关系的数据，RFID 数据具有以下独特的特征。

1）原始数据元组结构简单：RFID 数据元组结构为（EPC，时间，地点）。一个 RFID 元组代表着某一物品对象的时间和空间信息。给定应用的元组是唯一的。

2）隐含语义：同一个 EPC 编号在不同 RFID 元组中的语义可能不同。例如，同一超市内，不同时间或地点阅读的同一个 EPC，读取的数据可能代表不同的事件背景，如店铺盗窃、结账离开或物品在货架上。

3）重复读数或漏读：贴有 RFID 标签的物品因被同一阅读器反复读数多次或不能被阅读器正确读取，导致数据的错误多读或错误漏读。

4）噪声和不一致性：对 RFID 数据质量而言，对指定 RFID 标记物品的路径追踪是要解决的首要问题。RFID 数据序列可能是错乱的，或读数不一致（例如，在相同时间、不同地点读取/发现同一个 EPC）。在特定时间内，对指定的一组物品的位置跟踪是一个难题。

在 RFID 的应用中，由于贴有 RFID 标签的物品被大型集装箱、货车、船舶和托盘等交通工具进行批量运输，因此多个 RFID 标签标记物品被一起读取。那么如何有效、高效地处理和管理这些读取数据成为一个难题。理解批处理与物品之间的关系是实现时间和空间这两个维度跟踪的关键。

NDP 项目中，全球 EPCIS 都开发了订单修正功能，能够成功读取 EPCs，并建立与特定运输工具内运载的集装箱或货盘之间的链接。

图 5-4 显示了 Gillette 订单的修正功能。结果表明，当货物通过 Metcash 仓库出入口时，并不能达到 100% 的识读率。但是，由于所有物品被全部打包并强制执行登记，因此对全球 EPCIS 而言，可利用一些成功的读数将丢失的 EPC 与装运订单联系起来。某船只运载了 13 件货物，并且都在货位挑选程序中进行了登记。在仓库出入口阅读点处，除货盘标签 iteam 13 和产品标签 iteam 5 之外，其他的标签全部被成功识读，并利用订单整合功能将成功的读数修正为一个装运订单。

相比 GRAI 标签可能出现的读数而言，SGTIN 标签成功识读可能性更大。各选项见表 5-1。表 5-1 表明，一些数据处理规则应该支持处理数据，例如，对 RFID 数据质量不准确的数据进行修正。

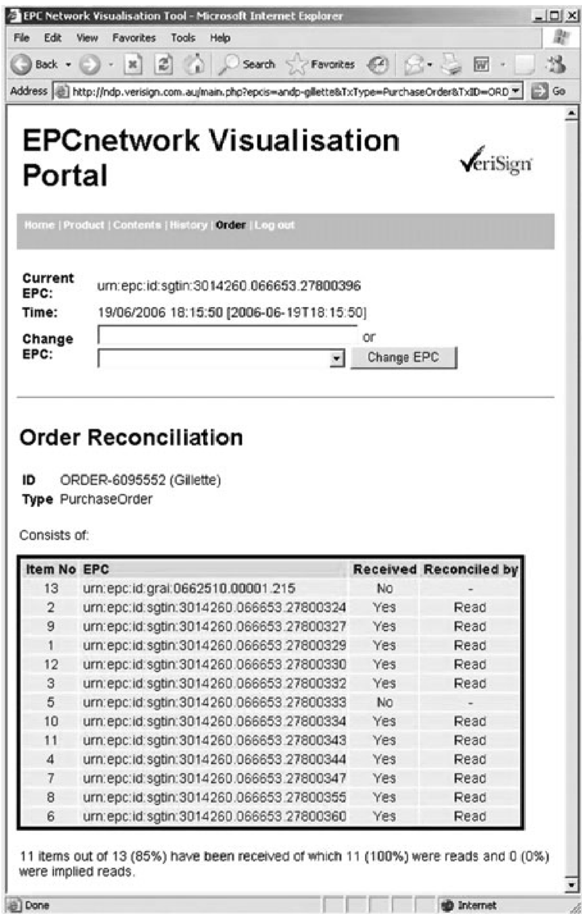


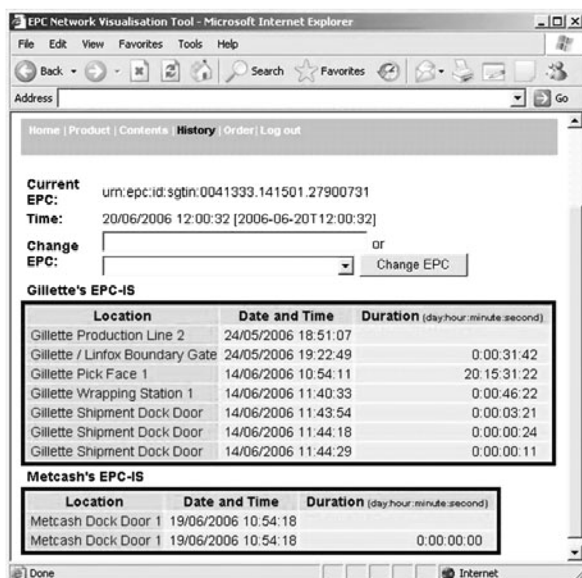

图 5-4　数据修正示意图

**表 5-1　乱序修正的几种情形**

| 情形 | 包装箱（GRAI） | 物品（SGTIN） | 可能状态 |
|---|---|---|---|
| 1 | 否 | 否 | 如果没有阅读到包装箱标签和 SGTIN，系统不可能做出任何推理。说明不存在该事件的相关事件记录 |
| 2 | 是 | 是 | 如果包装箱标签和 SGTIN 都被阅读到，且所有的包装箱标签都被阅读 |
| 3 | 是 | 否 | 基于对至少一个 EPC 识读的约束信息，可能找出该集装箱的识别率，通过观测集装箱中装载的物品或包含了 EPC 的集装箱 |
| 4 | 否 | 是 | 与情形 3 类似 |

### 5.4.2 乱序事件流（UnES）

序列和序列长度是处理复杂事件的两个重要特征。然而，通常情况下到达事件的顺序可能与物理世界中发生的事件顺序不一致。我们以 NDP 中的一个实例进行举例说明（见图 5-5）。事件的 EPC 记录为 urn：epc：id：sgtin：0041333.141501.27900731。紧跟其后是拣选货位和包装中心处的记录信息，该物品在仓库出入口处被记录了 3 次。这些事件都在短时间内（4 分钟以内）发生。人们不禁会问：实际发生了什么？该货物是入库还是出库？发生时间为 11：44：29 的事件记录是否意味着货物在该时刻被装运离开现场？发生在 19/06/2006 的最后一个事件和下一个事件之间的中间时刻，EPC 到底发生了什么变化？




| Location | Date and Time | Duration (day:hour:minute:second) |
|---|---|---|
| Gillette Production Line 2 | 24/05/2006 18:51:07 | |
| Gillette / Linfox Boundary Gate | 24/05/2006 19:22:49 | 0:00:31:42 |
| Gillette Pick Face 1 | 14/06/2006 10:54:11 | 20:15:31:22 |
| Gillette Wrapping Station 1 | 14/06/2006 11:40:33 | 0:00:46:22 |
| Gillette Shipment Dock Door | 14/06/2006 11:43:54 | 0:00:03:21 |
| Gillette Shipment Dock Door | 14/06/2006 11:44:18 | 0:00:00:24 |
| Gillette Shipment Dock Door | 14/06/2006 11:44:29 | 0:00:00:11 |

| Location | Date and Time | Duration (day:hour:minute:second) |
|---|---|---|
| Metcash Dock Door 1 | 19/06/2006 10:54:18 | |
| Metcash Dock Door 1 | 19/06/2006 10:54:18 | 0:00:00:00 |

图 5-5 urn：epc：id：sgtin：0041333.141501.27900731 物品的信息跟踪

上述讨论说明了一种现象，即乱序事件流（UnES）。UnES 可能由网络路由延迟导致，也可能是由于一个标签被多个阅读器同时阅读时的任意记录选择引起的，这与因特网通信过程中数据包无序到达系统应用层的情形类似。UnES 就是对那些乱序到达系统的事件记录进行管理。目前，解决 UnES 问题的方法有两种。一种方法是假设录入系统的事件记录的顺序与其在物理世界发生的顺序是一致的，通过这种假设可以简单忽略 UnES 问题，如 SASE。另一种方法是根据提取复杂事件模型之前的事件时间戳，如 Cayuga，使用 Srivastava 和 Widom 提出的方法对事件数据进行整理和分类。

然而，这两种方法都存在缺点。对于第一种方法，由于 RFID 阅读器分布广泛且

存在一定的时延，事件记录被存入 RFID 系统的顺序不能总是与这些事件发生的先后顺序相一致。此外，RFID 标签可被不同的阅读器同时阅读，但是阅读器可能在不同的时间将这些原始事件发送至系统。同时，即使事件记录被送至系统后，它们可能还需要在不同的进程中排队等候。显然，对大多数 RFID 应用而言，忽视 UnES 问题是不切实际的。第二种方法要求事件记录进入系统的时间点必须不超过界定的时间延迟范围。同时，该方法利用同一时间延迟界限处理所有的应用。如果系统同时处理多个应用，那么单一的界定范围就不足以应对所有输入数据造成的综合影响。

### 5.4.3　大规模复杂事件的追踪

通常，一个 RFID 阅读器的一次读数被认为是一个原始事件。阅读设备的广泛部署将产生大量的事件。为检测与终端用户应用相对应的语义层复杂事件，需要对这些原始事件进行过滤和关联处理。而复杂事件则是对输入的原始事件的一组连续查询。在复杂事件的处理过程中，所有新输入的原始事件需要记录在序列构建的结构中进行存储。但问题是，当原始事件输入系统的速度比复杂事件的中间状态输入系统内存的速度快时，如何有效检索所有复杂事件的中间状态。

图 5-6 所示为 NDP 项目中，EPC 为 urn:epc:id:sgtin:49024300.24737.601 的物

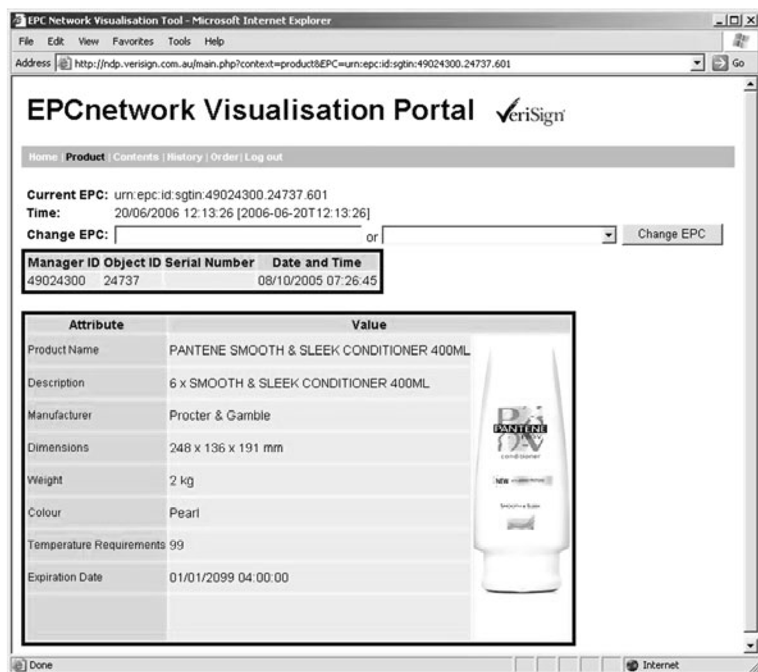


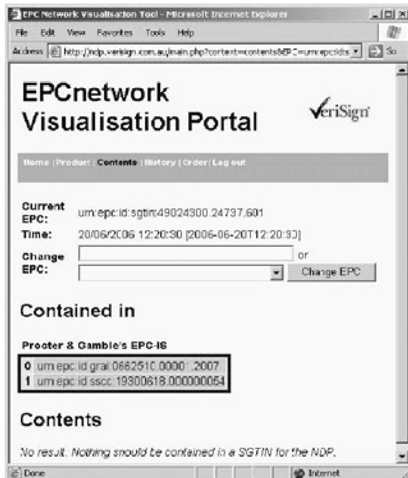

图 5-6　全球 EPCIS 中第一次存储的 601 号物品的信息记录

品（601 号物品）在 EPCIS 中存储的信息记录。

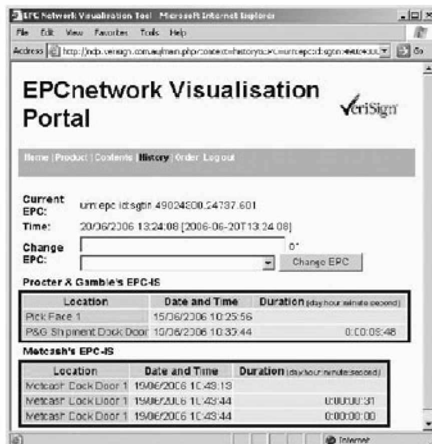
经过多次交易处理后，可以在不同的关联事件中检索 601 号物品的信息（见图 5-7）：

（a）在一个货盘内强制关联。

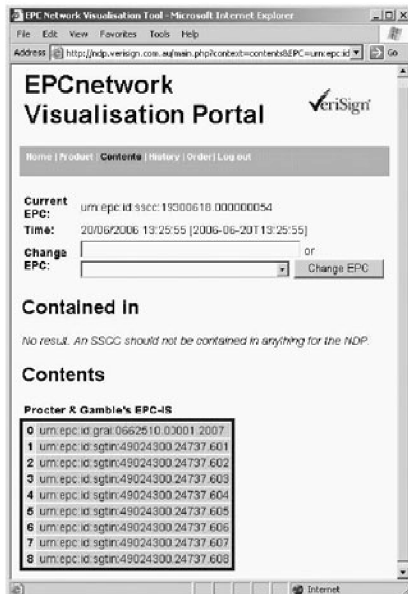
（b）在拣选货位以及仓库出入口处侦测物品。



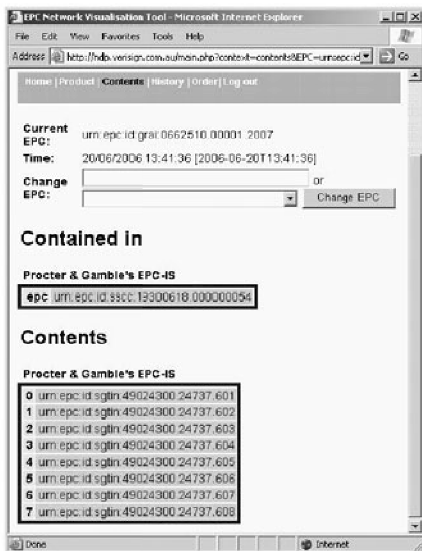

a)




b)




c)




d)

图 5-7　不同情形下 601 号物品的货运信息

（c）在 SSCC 中侦测物品。

（d）一个货盘作为一个组件。

RFID 事件管理系统应具备对复杂事件的处理功能。Franklin 等人提出了 HiFi 系统结构。HiFi 沿着树形结构的网络在不同时间和地点上聚合事件。Mansouri - Samani 和 Sloman 等人也充分考虑了时间约束限制。然而，这些时间受限的管理系统不适用于特殊的 RFID 事件模式，如在事件间隔或否定事件（即不可能发生的事件）间隔上具有时间约束的事件序列。此外，Brenna 等人提出了 Cayuga 系统处理发布/订购系统中的复杂事件。Cayuga 语言与 RFID 数据管理系统所要求的语言表达类似。它可以处理多种类型的复杂事件，包括 Kleene 闭包模式序列。然而，Cayuga 不支持两个连续事件之间的时间间隔的限制。

## 5.4.4　基于流数据的模式识别

根据系统要求，在 EPCIS 中，不同实施方案的过滤规则是不相同的。EPCIS 可根据其中的过滤规则忽略规定时间窗口内的相同标签的信息。通过设置“忽略”时间窗口，可降低标签被漏读的概率，而时间窗口长度的设置对尽可能多地捕获标签至关重要。如果时间窗口设置得太长，EPCIS 可能会忽略对很多标签的识读并严重影响识读速度。如果时间窗口设置得太短，将产生多个事件记录。为保证捕获标签的概率，项目组决定减少“忽略”时间。

在 NDP 项目实践期间，项目组对不同的窗口时间值进行了反复实验。不采用过滤规则的情况下，在 1s 内最多能对一个标签（周围有 100 个标签）记录 18 个阅读事件。对 EPC 数据流的研究发现，同一标签在同一秒内被多次读数，即同一标签的两个读数事件发生的时间间隔为零。这个过程不会对数据的记录过程造成较大影响，但对已经处理过的数据不利。

因此，基于 RFID 数据管理系统的查询，应能够识别复杂事件模式。给定查询条件下的查询输出结果为对应事件的事件模式。查询的执行过程是对网络上的 RFID 数据流进行搜索。事件模式有多种表示形式，如联合、关联、集群、序列事件，或原始事件之间的依赖关系。RFID 数据流的模式识别主要有以下性质：

1）数据处理的速度必须比数据的到达速度快。因此，模式识别算法只对数据进行一次扫描。复杂事件模式的构造必须稳定，以避免重复扫描旧数据。

2）为保证事件处理过程中事件模式的统计意义，必须有足够多的数据。

3）算法必须能够应对模式的变化——发现的模式可能会随时间的变化而改变。换句话讲，确定的模式才是真正的模式。因此，系统必须能够不断地监视数据流的变化。

## 5.5　RFID 数据流建模

RFID 数据片的物理值（如时间和地点）和逻辑值（如数据流的事件模式、所有权和商业交易）是非常重要的信息。RFID 数据有不同的表示层。在物理层，数据代表平面图和地理位置。在网络层，数据表示移动式阅读器与网络之间的连接关系。在业务层，数据代表业务事件。业务合伙人不得不专门开发每一层中的事件，以满足不同的商业实践和系统要求。

鉴于前面讨论的要求，我们开发了 RFID 数据流模型。

### 5.5.1　大规模 RFID 部署模型

快速、大规模 RFID 的部署需要一个新的模型——为全球 RFID 物品的跟踪而开发的系统模型。NDP 项目积累的经验表明，在 RFID 网络中，RFID 标签的流动性、物品所有权的变更、工作流程和事件模式的改变，导致数据的不断变化。因此，开发一种能够应对 RFID 系统内在变化的新模型尤为必要，利用新模型可实现不同表示层之间的 RFID 数据的跟踪和追踪。为有效跟踪和追踪三个表示层中的 RFID 数据，我们开发了数据承袭模型（Data Lineage Model，DLM）系统，如图 5-8 所示。在 DLM 模型中，三个表示层在逻辑上相互独立。

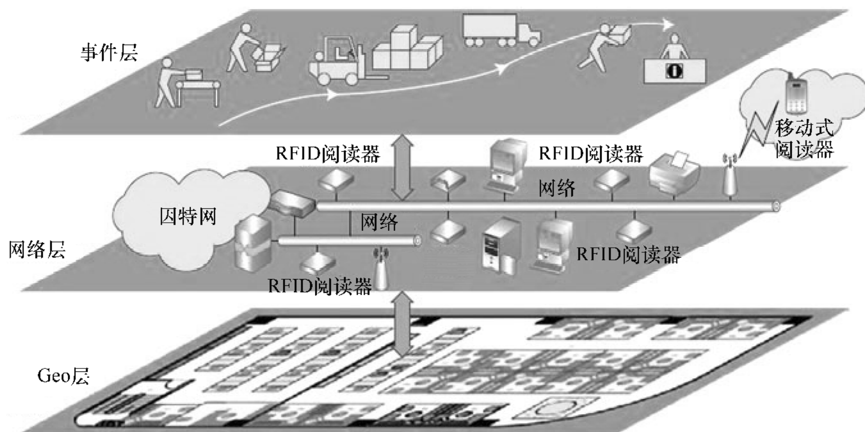



图 5-8　对全球物品追踪的 DLM 模型（Mo 等（2009），RFID infrastructure design：A case study of two Australia RFID projects，IEEE Internet Computing. © 2009 IEEE）

事件层负责业务交易的建模。在采用了 RFID 技术的 FMCG 供应链管理系统中，我们利用前置或后置条件和触发器定义业务事件，触发器描述了事件的发生条

件（如时间或空间条件）以及系统应该采取的行动。例如，当分销商从制造商那里订购产品以及零售商向分销商的账户付款时，我们可以对不同所有者的 ID 在前置和后置条件中模拟所有权的变更。该事件可能是仓库出入口处的阅读事件，读数操作可能是登记货物，也可能是核查产品的数量。

网络层实现事件层的业务事件向网络配置层的映射，确保业务事件可追溯。对于每个业务事件，系统对相关的网络设备进行注册。网络层从非法的数据注入和识读中保护数据谱系。

最后，Geo 层将所有的网络设备与相关地理属性（例如，带有 3D 地理位置的平面图）和业务所有权联系起来。系统可以进一步将来自网络设备的业务事件映射到相应的物理位置上。假设我们可以使用移动网络来跟踪移动物体，系统可以动态映射网络设备的逻辑连接到相应的新位置上。在这种情况下，网络层与地理层之间的映射代表了跟踪事件层业务交易的一个紧密耦合。

逻辑独立层次结构保证 RFID 系统内发生在某一表示层的变化（如业务流程的变化）独立于其他层的变化。因此，低表示层发生的变化不会影响业务逻辑（如网络结构的改变）。注意，虽然 RFID 应用层事件标准 EPCglobal 强调了 RFID 数据流处理的重要性，但它在很大程度上依赖于系统开发商对特定应用进程在基础设施中的实施。

### 5.5.2　RFID 数据清洗和预处理

DLM 模型中低层的 RFID 数据存在重复、噪声和不确定性等问题。数据的过滤被认为是清洗数据和捕获数据的统计特征。

### 5.5.3　复杂事件处理和模式识别

复杂事件体现了商业交易的模式。为与高层的商业交易相匹配，需要确认低层 RFID 读数的识读时间和位置属性。鉴于此，首要考虑是解决复杂事件处理的关键算法。Johnson 等人提出了一种高效的算法，在 IP 包数据流中查询乱序数据。Li 等人提出了一种新的乱序处理（Out－of－Order Processing，OOP）结构，即通过明确的流进度指示，如标点符号或心跳，完成解锁和清洗操作，这样流系统不需要维护数据流顺序。在对这些乱序数据的处理过程中，不考虑数据随着时间的变化。我们拟使用事件时钟自动控制（Event－clock Automata，ECA）的子集。与定时自动控制不同，ECA 不控制时钟的调动，时钟值是固定的，并且与到达事件的时间值有关。ECA 有两种类型的时钟：①事件记录时钟；②事件预测时钟。

#### 5.5.3.1　事件记录时钟

事件记录时钟值始终等于到达事件的占用时间与当前时间的比值。图 5-9 所示为使用携带事件记录时钟的 ECA 简单查询事件序列（SEQ（a，b，c））。在图的底

端，箭头线上方为一串事件流，箭头线下方的数字为时间戳。与 SASE 不同，图中所给事件流并非全部按顺序排列。具有两个事件记录时钟的 ECA：$X_a < X_b$，$X_b < X_c$。利用这个时间约束可以检查事件的顺序并丢弃 SASE 中忽略的乱序事件。如输出所示，对于图 5-9，只有两个系列的事件被识别，并且摒弃了乱序事件（如 a9，b6，c7）。

#### 5.5.3.2　事件预测时钟

该时钟为预测变量。相对于当前时刻，事件下一次发生的时间即为该时钟的变量值。因此，只有在到达事件发生后或某一特定周期内，时间约束才满足该时钟变量。以图 5-9 为例，仅当事件 a 发生 4s 后，事件 b 才是有效的，那么，通过简单地更改 ECA 的时间约束为 $X_b \geq X_a + 4$，得到的输出是 a1，b5，c8。如果事件 b 在事件 a 发生后的 4s 内发生，那么，必须改变时间限制为 $X_b \leq X_a + 4$。

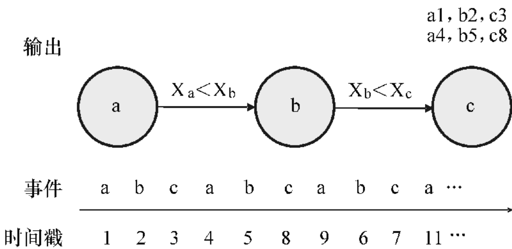



图 5-9　带有事件时间戳的 ECA 示例

利用 ECA 可以过滤和检测乱序事件，并丢弃那些在时间约束上无效的事件。

事件时钟对追踪 FMCG 供应链中 EPC 的当前状态起着举足轻重的作用。NDP 项目便对宝洁（P&G）潘婷彩色护发素产品进行了跟踪，产品 EPC 代码为 urn:epc:id:sgtin:49024300.24741.276。产品的跟踪，需要对所有产品事件相关的时钟数据及来自所有可用 EPCIS 的运输信息进行处理。

在表 5-2 中，某产品于 4 月 11 日在 P&G 调度中心被 RFID 阅读器识读，下一次被识读的时间为 5 月 9 日。通过关联 Geo 层信息和阅读器的位置信息，该产品在 Metcash 接收端被识别。该产品被连续识读直至 5 月 23 日。

**表 5-2　某产品的事件序列**

| 事件 | 日期 |
|---|---|
| P&G 调度中心 | 11－04－06 |
| Metcash 接收端 | 09－05－06 |
| Metcash 筛选初始识读 | 15－05－06 |
| Metcash 筛选最终识读 | 23－05－06 |
| Metcash 事件 | 23－05－06 |

通过滤除不必要的事件数据，筛选出需要的产品并于 5 月 23 日发送至配送中心。该案例表明，在 P&G 供应货物到 Metcash 端接收货物的整个过程存在很大的时间延迟，然而引起时延的具体原因未知。由表 5-2 发现，货物被送到零售商店前已在仓库内滞留了两个星期。

### 5.5.4　实时查询语言

实时、大容量 RFID 数据流的处理以及物理 RFID 观测数据向业务应用相关联的虚拟计数信息的自动转换需要一个通用的 RFID 数据处理框架。RFID 应用需要一种实时的查询语言，该语言应定义如何对单一事件进行过滤及如何基于时间和价值条件关联多个事件。根据 NDP 项目总结的经验，实时 RFID 查询语言应具备对以下内容的查询能力：

1）复杂事件的序列，该事件涉及来自不同地点的存储空间和时间范围的多个读数。

2）指定发生频率条件下的事件模式。

3）网络数据流和基于中央数据库中存储的静态数据的经典函数。

然而，当前尚不存在满足以上特性的查询语言。为实现时间事件跟踪，我们提出了一种新的生存时间（Time－to－live，TTL）的概念。TTL 代表了能够合法生存于 RFID 系统中的 RFID 事件的时间长度。TTL 涉及各种复杂时间事件模式，包括现有系统能够处理的事件模式。特别地，我们将 TTL 分为四类用来表示不同的 RFID（原始/复杂）事件：

1）绝对 TTL：定义了一个 RFID 标签在物理世界的生存时间。

2）相对 TTL：定义了一个 RFID 标签能够用于特定应用程序里的时间（之后，可以重新分配标签到其他应用程序中）。

3）周期 TTL：定义了相同事件类型的两个连续事件之间的时间间隔，即周期 TTL 决定了相同事件周期性发生的时间间隔。

4）连续 TTL：定义了两个连续事件发生的时间间隔。

TTL 克服了 5.3 节所述的事件数据管理当前存在的问题。例如，在序列 A B C 中，如果 A 和 B 之间的间隔大于 1min，则 B 和 C 之间的间隔应小于 2min；如果 A 和 B 之间的间隔大于 1min，则 B 和 C 的间隔可能大于 5min。该时间约束可由以下两个规则进行表达：

$$\text{RULE1: IF}[t(\text{B})-t(\text{A})]>1\text{Minute THEN}[t(\text{B})-t(\text{C})]<2\text{minutes}$$

$$\text{RULE2: IF}[t(\text{A})-t(\text{B})]>1\text{Minute THEN}[t(\text{B})-t(\text{C})]>5\text{minutes}$$

显然，这两个规则是两个独立的事件模式，规则 1 中有初始事件 A，规则 2 中有初始事件 B。因此，当满足规则 1 的时间约束时，ABC 的事件序列将被成功检测；当满足规则 2 的时间约束时，BAC 的事件序列被成功检测。

TTL 查询语言可以广泛用于带时间约束的 RFID 应用。如开展 NDP 项目的典型供应链，根据再分配需求，要求企业对产品进行包装和再包装。Geo 层的完全可追踪性，将产生与时间数据相统一的全球位置信息数据，并为全球物品追踪提供独立的数据模型。使用 TTL 的概念维持物品（尤其是可回收物品）相关的时间信息，也是全球范围内追踪物品的关键。

## 5.5.5　系统结构和原型

图 5-10 所示为处理 FMCG 供应链管理业务需要的一个复杂事件管理系统（Complex Event Management System，CEMS）。该系统包括：

1）三个数据库：事件类型数据库、查询数据库和中央数据库。

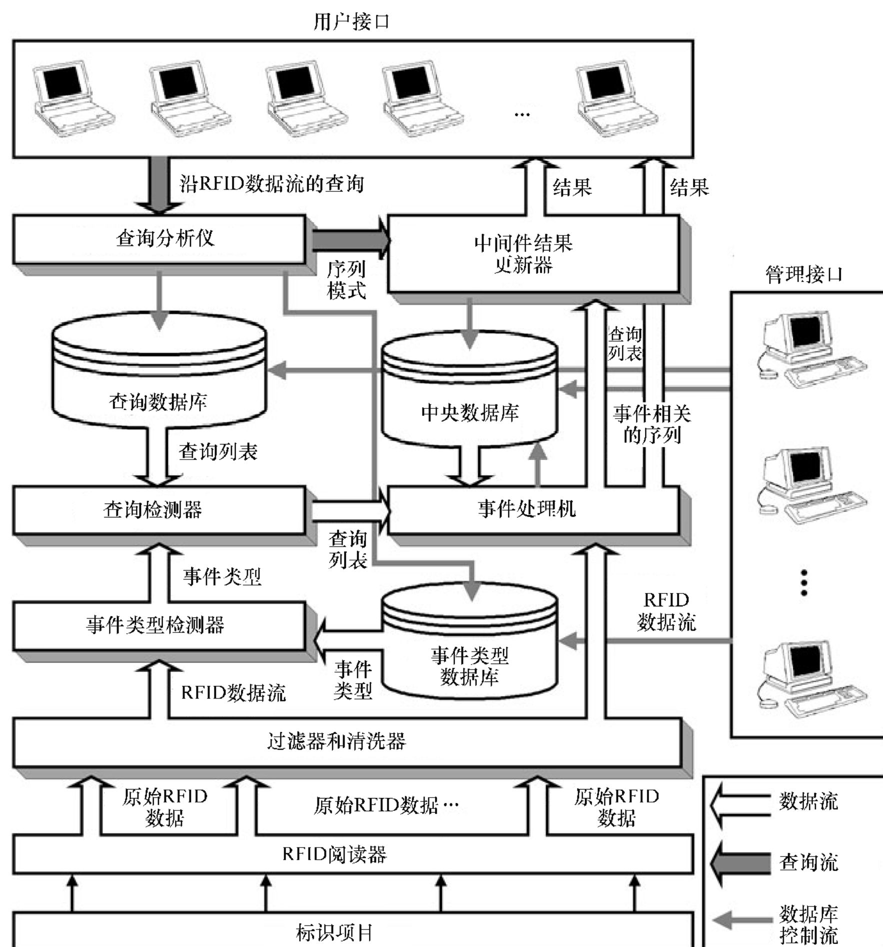



图 5-10　复杂事件管理系统结构

2）六个模块：过滤器和清洗器、事件类型检测器、查询检测器、查询分析仪、事件处理机和中间件结果更新器。

CEMS 以无限的 RFID 数据流为查询的输入，并输出与此次查询相匹配的事件的查询结果。对于模式识别查询，查询结果为用户指定频率条件下的识别事件序列。

CEMS 中存在三种独立的信息流：数据库控制流、查询流以及数据流。数据库控制流被管理员用来管理这三个数据库。查询流则代表了 CEMS 对用户提交的查询的处理过程。查询被送至查询分析仪进行分析，以便于更新查询数据库、事件类型数据库和中间件结果更新器。

在 CEMS 中，底层捕获的 RFID 原始数据经过处理以后再向用户发布查询结果。原始 RFID 数据首先经过过滤和清洗处理，然后生成的事件被发送至事件处理机等待处理。当接收到的查询列表与事件序列相关时，事件处理机开始处理查询。事件处理机先处理与事件序列不相关的查询，再处理与事件序列相关的查询。两种查询结果都会被发送给用户，如果查询结果要求更新信息，则更新中央数据库。

EPCIS 结构提供了数据逻辑服务。图 5-10 给出了业务逻辑不同模块的工作流程。因此，复杂事件管理系统结构作用于 FMCG 供应链系统中检测复杂事件的应用层。

## 5.6　结论

RFID 设备的广泛部署是 FMCG 供应链的关键推动者之一。从两个国家项目中总结的经验表明，为保证 RFID 产生的信息的准确性和有效性，需要有一个良好的 RFID 事件管理过程。这个过程不仅要求能够有效采集 RFID 数据，还应该管理与所有事件的元数据相关的 RFID 数据的采集过程，如数据采集的背景。因此，复杂事件处理和模式识别是 FMCG 供应链管理的核心技术。复杂事件处理在精细库存控制、运动目标跟踪、所有权自动转让及其他应用方面表现出显著优势。

RFID 数据流管理模型在运动目标的模式识别等智能 RFID 应用方面备受关注。在两个国家 RFID 示范项目的设计和实施经验的基础上，本章描述了复杂事件处理系统的三层体系结构，并讨论了软件系统结构。本章提到的核心技术将直接应用于供应链管理，包括商业环境的频繁变化。这些技术在社会中扮演了不可或缺的角色，该系统能够自动地适应各种变化，则要求其实时应用支持有效、高效的简化和监控操作。

**致谢**：NDP 以及其扩展项目由澳大利亚政府的两个基金项目支持，基金项目来自由通信、信息技术以及人文学院负责的信息技术在线规划项目（Information Technology Online ，ITOL）。

# 参 考 文 献

Alur R, Fix L, Henzinger TA (1994) Event-clock automata: a determinizable class of timed automata. In: Proceeding. of the 6th conference on computer aided verification (CAV'94). Lect Notes Comput Sci 818:1–13

Armenio F, Barthel H, Burstein L, Dietrich P, Duker J, Garrett J, Hogan B, Ryaboy O, Sarma S, Schmidt J, Suen KK, Traub K, Williams J (2007) The EPCglobal architecture framework. EPCglobal final version 1.2. http://www.epcglobalinc.org/home

Bai Y, Wang F, Liu P, Zaniolo C, Liu S (2007) RFID Data processing with a data stream query language. In: Proceedings of the 23rd international conference on data engineering (ICDE'07). Istanbul, Turkey, 15–20 April 2007, pp 1184–1193

Borriello G (2005) RFID: tagging the world. Commun ACM 48(9):34–37

Brenna L, Demers A, Gehrke J, Hong M, Ossher J, Panda B, Riedewald M, Thatte M, White W. (2007) Cayuga: a high-performance event processing engine. In: Proceedings of the ACM SIGMOD international conference on management of data (SIGMOD'07). Beijing, China 11–14 June 2007, pp 1100–1102

Chawathe SS, Krishnamurthy V, Ramachandran S, Sarma S (2004) Managing RFID Data. In: Proceedings of the 30th international conference on very large data bases (VLDB'04), Toronto, Canada 31 August–3 September 2006 vol 30, pp 1189–1195

Derakhshan R, Orlowska M, Li X (2007) RFID data management: challenges and opportunities. In: IEEE first international conference on RFID, Grapevine, TX, USA 27–28 March 2007, pp 175–182

Franklin MJ, Jeffery SR, Krishnamurthy S, Reiss F, Rizvi S, Wu E, Cooper O, Edakkunni A, Hong W (2005) Design considerations for high fan-in systems: the HiFi approach. In: Proceedings of the second Biennial conference on innovative data systems research (CIDR'05) Asilomar, CA, USA 7–10 January 2005, pp 290–304

Gershenfeld N, Krikorian R, Cohen D (2004) The internet of things. Sci Am 291(4):76–81

Gonzalez H, Han J, Li X, Klabjan D (2006) Warehousing and analysing massive RFID data sets. In: IEEE 22nd international conference on data engineering (ICDE'06), Atlanta, GA, USA April 2006, pp 83–93

GS1 Australia (2006) EPC Network™ Australia Demonstrator Project Report. Available on request from http://www.gs1au.org/. Accessed 24 June 2009

GS1 Australia (2007) National EPC Network™ Demonstrator Project Extension. Public report distributed in Smart Conference 2007. Sydney, Australia 20–21 June. Available on request from http://www.gs1au.org/products/epcglobal/australian_activities/demonstrator_project.asp

Gyllstrom D, Agrawal J, Diao Y, Immerman N (2008) On supporting Kleene closure over event streams data engineering. In: Proceedings of 24th IEEE international conference on data engineering (ICDE'08), Cancún, México 7–12 April, pp 1391–1393

Johnson T, Muthukrishnan S, Rozenbaum I (2007) Monitoring regular expressions on out-of-order streams. In: IEEE 23rd international conference on data engineering (ICDE 2007), Istanbul 15–20 April 2007, pp 1315–1319

Landt J (2005) The history of RFID. IEEE Potentials Oct/Nov 24(4):8–11

Lehtonen M, Michahelles F, Fleisch E (2007) Trust and security in RFID-based product authentication systems. IEEE Syst J, Special Issue on RFID Technology: Opportunities and Challenges. December 1(2):129–144

Li X, Liu J, Sheng QZ, Zeadally S, Zhong W (2009) TMS-RFID: temporal management of large-scale RFID applications. Int J Inf Syst Front. Springer. DOI:10.1007/s10796-009-9211-y

Liu G, Mok A, Konana P (1998) A unified approach for specifying timing constraints and composite events in active real-time database systems. In: Proceedings of the 4th IEEE real-time technology and applications symposium (RTAS'98), USA 3–5 June 1998, pp 199–209

Mansouri-Samani M, Sloman M (1997) GEM: a generalized event monitoring language for distributed systems. Dist Syst Eng 4(2):96–108

Mo JPT (2008) Development of a national EPC network for the tracking of fast moving consumer goods. Int J Enter Network Manag 2(1):25–46

Mo JPT, Gajzer S, Fane M, Wind G, Snioch T, Larnach K, Seitam D, Saito H, Brown S, Wilson F, Lerias G (2009) Process integration for paperless delivery using EPC compliance technology. J Manuf Tech Manag 20(6):866–886.

Mo JPT, Lorchirachoonkul W, Gajzer S (2009a) Enterprise systems design for RFID enabled supply chains from experience in two national projects. Int J Eng Bus Manag 1(2):49–54

Rizvi S, Jeffery SR, Krishnamurthy S, Franklin MJ, Burkhart N, Edakkunni A, Liang L (2005) Events on the Edge. In: Proceedings of the ACM SIGMOD international conference on management of data (SIGMOD'05), Baltimore, MD, USA 13–16 June 2005, pp 885–887.

Srivastava U, Widom J (2004) Flexible time management in data stream systems. In: Proceedings of the 23rd ACM symposium on principles of database systems (PODS'04), Paris, France 14–16 June 2004, pp 263–274

Wang F, Liu P (2005) Temporal management of RFID data. In: Proceedings of the 31st international conference on very large data bases (VLDB'05), Trondheim, Norway 30 August–2 September 2005, pp 1128–1139

Wang F, Liu S, Liu P, Bai Y (2006) Bridging physical and virtual worlds: complex event processing for RFID data streams. In: Proceedings of the 10th International Conference on extending database technology (EDBT'2006), Munich, Germany 26–31 March 2006, pp 588–607

Wu E, Diao Y, Rizvi S (2006) High-performance complex event processing over streams. In: Proceedings of the ACM international conference on management of data (SIGMOD'06). Chicago, IL, USA 26–29 June 2006, pp 407–418

# 第 6 章　基于语义的 RFID 数据管理

Roberto De Virgilio，Eugenio Di Sciascio，Michele Ruta，Floriano Scioscia，
Riccardo Torlone

**摘要**：传统的 RFID 应用倾向于取代供应链管理中的条形码。利用普适计算结构，本章提出了一个框架，使得系统能够根据供应链参与者的需求，实现快速分布式的在线物品发现，以及集中式的离线大规模业务逻辑分析。基于语义的环境下，标识对象不再是一个简单的识别码，而是在 RFID 阅读器显示的语义标注资源。基于语义的环境，无需依赖集中的基础设施便可促使标识对象进行快速、动态、实时的自我描述。另一方面，数据管理方面也面临着很多问题，因此提出了为供应链产生的和存储的大量 RFID 数据进行有效的离线多维分析。

## 6.1　引言

供应链是由系统性的组织和人们的日常活动构成的一个复杂的系统，包括从供应商到最终客户的产品或服务的转移。一个成功的供应链依赖于扩展的协作，意味着生产和物流网络中参与者的整合。完善、灵活的物流管理（物品流和信息流）必须能够对工厂内、外的物流进行界定。专业的生产和分配过程会受到刚性网络所允许的制约影响。因此，当今市场竞争的相关成分开始在物流链中出现。供应链也不再是静态的或线性的系统，而是需要进行动态评估的、由供应链中参与者行为之间的相互作用和相互联系组成的复杂系统。

诸多实证调查表明，企业效能与其对更大系统的倾向和态度呈正相关。这就是企业越来越关注由企业内部职能和外部参与者之间的协调和合作带来的机会的原因。因此，在过去几年里，信息已成为一种重要的战略资产，在物流和市场营销中占据决定性地位。对业务分析和评估以及最终制定纠正措施等过程而言，原材料、产品及其相关信息被认为是评价产品或服务的质量标准的战略性要素。对受供应链制约的零售商而言，当前消费品市场的发展趋势尤为重要。对消费品市场领域极其感兴趣的零售集团的规模不断扩大，增强了他们与生产商抗衡的力量，并使其成为价值累积的特权中坚力量，在整个供应链中扮演了信息流的过滤器角色。因此，为促进信息的交流，大多数的零售商正引进新技术，并且贸易伙伴采用可互操作的解决方案。

RFID 是一种自动识别技术，通过无线电实现应答器（俗称标签）和询问机（也叫做阅读器）之间的互连。应答器和询问机作为 RFID 的主要组成部分，其中，携带数据的应答器被置于待检测的目标上；询问机则接收传输的数据。与条形码技术相比，RFID 技术具有以下优势：①与光学扫描不同，阅读器不需要绝对对准标签；②识读区域更广（可达数米）；③可同时检测多个 RFID 标签；④标签存储容量更大（高达数 KB）。以上特征使得 RFID 技术有助于提高供应链应用的自动化水准，并避免人为错误（例如，阅读器可以对入库的整批货物进行一次性库存识读登记，而不需要人工扫描每一个产品）。近几年来，行业正逐步形成 RFID 技术的全球标准。其中 EPCglobal 发挥了主导作用。然而，更先进的 RFID 功能的开发遇到了两大难题。首先，原来的识别机制只是解决琐碎的字符串与 ID 代码的匹配问题，并给出匹配结果“是/否”。其次，基于 RFID 的技术通常依赖于稳定的基础设施和固定的信息服务器，如果没有优越的数据管理和聚合机制，很难对这些设施和服务器中的大规模数据进行分析。对基于 RFID 技术的供应链增值的精确评估依赖于对供应链全球发展趋势的洞察，供应链本身要求对产生的和中央数据库管理系统（Database Management System，DBMS）中存储的大量 RFID 数据进行多维分析。因此，严重的数据管理问题依然存在且无法避免。

本章提出了供应链管理的创新模式，旨在克服引进普适计算所带来的缺陷。正如 MarkWeiser 所述，普适计算要求将信息和计算能力都深度融入到共同的目标对象/行为中，并且用户可同时与多部计算设备互动，从他/她日常活动环境中的“智能对象”中提取数据并对数据进行自动开发。

由于采用了分布式体系结构，该模型针对供应链中参与者的需要和要求，为快速运行时的分析（与所有结构的本地片段相关）和大量独立业务逻辑的详述（与集中式数据库管理系统相关）提供了一个框架。于是，开发了支持基于逻辑的知识表示体系的 RFID 扩展技术。基于语义的对象或产品的注释被存储在 RFID 标签中，开发了机器可理解的本体描述语言，本体描述语言最初用于语义 Web 并以描述逻辑（Description Logic，DL）为基础，例如资源描述框架（Resource Description Framework，RDF）㊀和网络本体语言（Web Ontology Language，OWL）㊁等描述逻辑。丰富、明确的语义信息是跟踪产品生存周期中每个步骤的关键。该模型可以沿供应链追踪和发现信息流——与产品特性相关的信息流，并形成不同供应链分析。也可以从不同的角度（例如，以产品为中心、以节点为中心、以路径为导向、以时间为导向）进行追踪。利用基于语义的查询，可在生产、包装和供应链管理的过程中对产品和工艺信息进行识读、更新和整合，从而均衡产品的全追踪能力与销

---

㊀ RDFPrimer，W3C 建议书，2004 年 2 月 10 日．参见 http：//www．w3．org/TR/rdf－primer/。

㊁ OWL 网络本体语言，W3C 建议书，2004 年 2 月 10 日，参见 http：//www．w3．org/TR/owlfeatures/。

售能力，同时实现产品数据的智能和本地化查询。

本章结构安排如下：6.2 节强调了典型情景下基于语义的 RFID 数据管理的优势；6.3 节主要阐述了语义模型的相关研究工作；6.4 节则对基本的形式化方法和表达语言进行了介绍；6.5 节给出了框架中开发的符号；6.6 节通过实验评估验证该框架的有效性；6.7 节对本章内容进行总结。

## 6.2 激励情景

通过一个简单的参考实例，阐述我们提出的方法，并突出它的优势。假设要监控服装产品——棉衬衫的生命周期，并且假设每一个生产环节都需要提取相关产品/工艺信息。在每个生产阶段都会逐步加入注释到增强 RFID 标签，如被运往工厂的棉纱集装箱（第一个生产阶段）、衬衫货盘（物流环节）和单一产品包装箱（最终销售阶段）上附着的标签。由于产品要具有可追溯性，标签中存储的信息有：①除 EPC 标识外，用于描述或介绍产品的定量数据；②生产或交付/物流进程相关的高级定性信息，可表示为特定行业领域的参考本体的语义注释。RFID 设备提取的信息具有多种用途。首先，在产品的每个阶段，可以对产品/工艺的预期质量要求进行准确检验。其次，根据产品的具体特性，可以实现从仓库到不同的生产部门的智能交货。

通过相关领域中参考本体定义的属性，产品可以继承其原材料的语义注释描述（对产品原材料的描述）。更多的产品属性也可以存储在 RFID 标签中，如尺寸、生产日期和（易腐产品的）过期日期。最后，激活高级应用程序，由运输该物品的供应链参与者对物品的位置信息、进入和离开次数进行盖章确认。基于语义的 RFID 数据管理除具有传统的面向数据的 RFID 基本特征外，还可促进进一步的信息交互。

该方法的特性之一是语义增强的 RFID 技术可实现共享信息，从而最优化供应链、改善物流功能并为所有参与者提供创新的服务。这个设想的框架具有较广的使用范围，如产品生命周期内的不同利益相关者。同时，可以获得一些有形的（经济）和无形的收益。在产品的制造和分配过程中，实现商业伙伴互联的广域支持网络并非是严格必须的。相比一般的 RFID 供应链管理解决方案，这是一个重大的创新。

基于语义的 RFID 标签中包含对产品特性的详细的结构化描述，赋予标签明确的、机器可理解的语义，实现了商品在任意 RFID 功能的计算环境中自动“曝光”自己的描述。这就要基于低成本、便于管理的移动 Ad Hoc 网络，采用分布式的方法提出上下文感知的应用的解决方案。除提高货物的可追溯性外，基于语义的方法还具有独特的增值功能。通过结合 Di Noia 等人提出的标准和非标准的推理服务，

设计了基于语义匹配的方案以满足具体应用的目标和要求。基于关键字的信息检索和标准资源发现协议仅支持以代码为基础的精确匹配，而基于逻辑的方法，其查询的灵活性和表现力均比以上两种方法优越。基于逻辑的方法可保证查询提炼过程，增强用户对所发现设施的信赖度。通过帮助顾客有效地使用购买的产品，语义增强的 RFID 对象发现也可以被运用于销售和售后服务。

## 6.3　相关研究工作

自动识别技术于近几年受到越来越多的关注，主要是因为该技术可被应用于许多行业。自动识别系统实现了处于移动状态的人、动物或货物的实时跟踪信息的交换。现在，RFID 是自动识别业务中发展最快的一种技术。

RFID 技术在供应链中的配送中心和仓库这两个部门中所表现出的优势得到了社会的广泛认可。最近几年里，RFID 技术在零售和售后行业中也发挥了明显的优势作用。RFID 技术的优势包括及时性、准确性和完整性。世界零售巨头——沃尔玛，一直处于 RFID 试验的最前沿，利用其雄厚的实力强行要求选定的供应商采用 RFID 技术，大大节约了保质期较短产品的 RFID 监控成本，RFID 技术的引进将提高零售商供应链的效率、准确性和安全性。De 等人提出了一个普遍语境下实时跟踪项目的参考系统。这项研究成果成为当前供应链管理技术架构的研究原型，该原型得到全球专业组织（如 EPCgloba 组织）的支持。另一个实例是将 RFID 技术用于相关的实例零售购物情景，使顾客经历一次体贴周到的购物体验。

RFID 技术的优势在于其强大的、动态的数据自动采集能力。然而，从信息化的角度来看，当前对 RFID 技术的研究工作相对较少。实际上，RFID 技术应该被视为信息的促进者，可以直接提高组织内人员的决策能力并实现跨界合作组织的信息共享。目前，研究人员似乎忽视了使用 RFID 采集的信息这个重要进程，该进程是获取 RFID 益处的重要因素，如供应链的可见度、产品的可追溯性和零售商的库存监控。换言之，供应链不仅应该被视为产品流网络，同时也是信息流网络。供应链信息基础设施的有效利用有助于提高业务流程的认知，从而改善性能分析和决策过程。

为启动这种新型的智能供应链，需要为基于 RFID 的数据存储和分析提出一种创新信息技术解决方案。对巨大的失效和大量的数据进行深入分析的业务流程而言，为更富表达力和复杂的 RFID 数据描述定义一种新的存储模式是最具研究价值的。这里主要有两个研究方向。

第一个研究方向是数据流的运行时处理。然而，最新的方法只能跟踪基本的信息即 RFID 阅读器产生的原始数据。原始数据包含在三元组（EPC，地点，时间）

中，其中 EPC 是特定的产品标识，而地点和时间代表了每个 RFID 阅读事件发生的地点和时间。更高级的信息和知识表示技术尚未广泛集成到智能供应链管理方案的 RFID 技术中，智能供应链管理方案支持更高级语义的分析。

第二个研究方向侧重于离线计算和高效的数据存储技术研究。Wang 等人确定了 RFID 事件的一些特征和语义，提出了一种扩展的实体关系模型。基于这个扩展的概念模型，对时间层面的数据流进行了分析。Bai 等人对在数据库中使用 SQL 语言检测时间事件的约束条件进行了研究，并提出了一种类似 SQL 的语言，利用该语言通过有效的方式查询此类事件。Ban 等人提出了面向位置区域的索引，该索引通过一种新的表示模型实现了对 RFID 阅读器注册路径的跟踪。开发的索引架构被命名为时间参数化的区间 R 树，它是一般 R 树的变体。Gonzalez 等人借鉴数据库相关的研究文献，提出了一种新的存储模型。其核心思想是将一起移动的目标聚集在一起，这样便可基于通用数据库中的尺寸和测量值进行多维分析。

对于针对对象/群组发现的快速链交互，关于给定语义注释的请求，我们称之为语义网（语义 Web）的主动性，我们可以把语义 Web 技术运用到基于 RFID 技术的供应链中。其基本目标是利用语义语言（如 RDF、OWL 或 DIG）充分描述附着 RFID 标签的产品。语义 Web 技术采用一种机器可以理解的方式形式化注释，因此增强了互操作性。一系列工具可用于信息处理与分析，包括基于规则的系统、基于逻辑的推理机和以陈述性语言（如 SPARQL[㊀]语言）为基础的查询机。开放世界假设（Open World Assumption，OWA）的有效性使得分析变得有意义，即使存在不完全的信息。这个特征可以克服广泛采用的“封闭世界”模式（例如，关系模式）的缺陷，当连接独立的合作组织的异构信息系统时，会出现“封闭世界”模式。这确实是供应链管理架构出现的情况。通过正规的本体语言，可对有关特定领域的知识进行建模和利用，从而从与每个资源相关的元数据定义的信息中获得新的隐含信息。

关于物理产品的基于语义注释的解决方案可通过研究相关的文献发现。Maass 和 Filter 介绍了一种适用于普通贸易环境的解决方案。然而，RFID 标签只存储一个产品代码，该代码是从中央后端信息系统中检索对应的 RDF 注释的关键。Pömel 等人提出的“虚拟对手”方法，继承了供应链管理中传统的 RFID 应用，构成了复杂多厂商供应链信息分享的重大架构和组织性挑战。相反，我们的核心理念是，作为供应链上流通的物理产品，关于事实本身相关的高级别信息被传送，并且可以在不同的层次开发有价值的业务分析。

最后，语义模型基于图表的性质，也带来了一些挑战。这些模型虽然简单，但不能被用作基本架构中的存储模型。当前已有关于替代逻辑组织以有效分析语义数

㊀ 用于 RDF 的 SPARQL 查询语言，W3C 建议，2008 年 1 月 15 日。参见 http：//www. w3. org/TR/rdf－sparql－query/。

据的研究。但是，这些研究主要围绕模型物理结构的优化开展（即依赖于支持这些结构的工具）。我们建议在不同的抽象层（不仅是在物理层）建立描述语义信息的数据模型。因此，语义模型物理结构的优化与任何物理环境无关。

## 6.4　预备知识

下面对语义模型中采用的形式化方法和表达语言进行阐述。

### 6.4.1　基于语义的匹配

基于语义的对象发现是建立在描述逻辑（Description Logic，DL）的基础上的。DL 支持 OWL 语言的语义。此外，OWL－DL 语法和 DIG（Description Logic Implementation Group，描述逻辑实现小组）之间存在严格的对应关系，其中 DIG 为基于 HTTP 接口的开发者。特别是，当面向实现问题时，DIG 2.0 公式表达请求和资源描述，因其简洁、紧凑，为移动 Ad Hoc 应用程序所必需。总之，采用 DL 语法可增强语法的可读性。

DL 为一簇知识表示语言，以逻辑形式化的方法表示特定应用领域的知识。其基本语法元素包括概念名、角色名以及个体名。其中，概念解释为该领域内目标对象的集合；角色则为不同概念子集内目标对象的属性；而个体则用于概念中特殊命名的元素。正式场合下，概念被解释为解析 $\delta$ 领域的子集，关系则理解为 $\Delta \times \Delta$ 子集的一种二元关系。

DL 公式通过每个构造定义解析函数 $I$ 给出了语义的含义。例如，如果 $A$ 和 $D$ 为两个一般的概念，则 $A \cap D$ 为集合的交集，即 $(A \cap D)^I = A^I \cap D^I$，当存在其他的布尔连接符 $\cup$ 和 $\neg$ 时，就会给出合集与补集的惯用理论集的注释。

概念可用于包含断言 $O \subseteqq D$ 和定义 $O \equiv D$，根据为特定域引发的知识，便可对可能的注释施以约束。DL 理论（又名 TBox 或者本体论）基本上是一系列的包含断言和定义。TBox 的模型 $T$ 是对该模型中满足所有包含关系和定义的解释说明。许多其他结构符的定义也有助于提高 DL 的表达能力。但是，这样通常会增加推理服务的计算复杂度。因此，推理服务的计算复杂度与 DL 表达能力之间的权衡非常重要的。

语义网的核心思想是基于 XML，如 RDF、RDFS 和 OWL，用标记语言注释信息。RDF、RDFS 和 OWL 等语言已经为机器可理解的语言，通过创建域的本体来明确表示 Web 内容，增强了 WWW 的开放性和互操作性。DL 和以上语言的密切联系在 OWL 的子语言中有明显体现。

1）OWL－Lite：允许类与类关系的分类层次和简单约束。

2）OWL－DL：以 DL 理论研究为基础，OWL－DL 保证计算的完整性和可判

定性。

3）OWL-Full：它具有自由的语法灵活性和强大的表达能力。这种自由是以牺牲计算性保证为代价的。

本章将对具有数值约束且 DL 范围具体的 ALN（D）DL 进行介绍。ALN（D）DL 为 OWL-DL 的一个子集，且在标准和非标准的推理服务中都具有一个复杂的多项式。ALN（D）DL 的构造如下：

1）$\top$，通用概念。域内所有的对象。

2）$\bot$，底部概念。空集。

3）$A$ 原子概念。属于集合 $A$ 的所有对象。

4）$\neg A$，原子否定。不属于集合 $A$ 的所有对象。

5）$C \cap D$，交集。既属于集合 $C$ 又属于集合 $D$ 的对象。

6）$\forall R.C$，通用约束。与关系 $R$ 有关的所有对象，其中，关系 $R$ 的范围为所有属于集合 $C$ 的对象。

7）$\exists R$，不合格的存在约束。至少有一个对象与关系 $R$ 有关。

8）$(\geqslant nR)$[㊀]$(\leqslant nR)(=nR)$[㊁]，不合格的数值约束。与关系 $R$ 有关的对象的最小值、最大值和确切的数字。

9）$f$，具体特征。向基本 DL 的扩展，基本的 DL 通过一组一元谓语 $p$ 实现概念到某一具体域 $D$（例如，整数、实数、时间域等）的链接，每一个具体的特征 $f$ 可以表示为 $p$（$f$），其中 $p: \delta \Rightarrow D$，$\delta$ 为特征域。本章仅考虑整数的实域和一元谓词 $(\geqslant kg),(\leqslant kg),(=kg)$，其中 $g$ 为一个特征，$k$ 为整数值。

知识表示（Knowledge Representation，KR）法通常利用推理服务即分类（也称为类别）和一致性（即可满足性）进行匹配。给定一组通用参考本体语言的请求或资源对的注释，通过分类可以检查是否所有的请求规范都包含在资源描述中。而一致性则对请求中的一些规范与资源注释中的规范进行一致性验证。这两种情况下的输出结果均为二进制值：true/false。尽管这些推理服务对于一个发现过程的早期阶段非常有效，但无法对请求相关的一组资源进行等级排列。

假设请求 $R$ 和提议 $O$ 都包含于本体 $T$ 相容，基于逻辑的匹配方法在以下五个类别使用分类和一致性进行等级匹配：

1）精确。$R$ 中请求的所有特征都完全由 $O$ 提供，反之亦然。用公式表示为 $T \vDash R \Leftrightarrow O$ 。

2）全部归类。$R$ 中请求的所有特征都包含在 $O$ 中，即 $T \vDash O \Rightarrow R$。

3）插件。$O$ 中提议的所有特征都包含在 $R$ 中，即 $T \vDash R \Rightarrow O$。

---

㊀ $\exists R$ 等于$(\geqslant R)$。

㊁ $(=nR)$即$(\geqslant nR \cap \leqslant nR)$。

4）可能的交集。$O$ 中提议的特征和 $R$ 中请求的特征之间存在一个交集，即 $T \nvDash \neg(R \wedge O)$。

5）部分不相交。$R$ 中请求的一些特征和在 $O$ 中提议的一些特征有冲突，即 $T \vDash \neg(R \wedge O)$。

当不存在精确且完全的匹配时，用户可能会得到一些可能的匹配和部分匹配。然后由基于逻辑的匹配器提供关于请求的现有资源的逻辑排序，但是使用分类和一致性得到的是布尔答案。部分匹配的结果可能只是“有惊无险”（例如，只有一个请求发生了冲突），然而一个纯粹的一致性检查可能返回一个错误的结果。这个错误结果由于与请求相似，可以对“并不太坏”的资源进行检索。

假设概念 $R$ 和 $O$ 以及本体 $T$，如果出现部分匹配，即如果资源关于本体 $T$ 互不兼容，将对 $R$ 中的一些规范进行检索，$G$（Give up）用来获得概念 $K$（Keep），则 $K \cap O$ 在本体 $T$ 下是可满足的。

Colucci 等人对概念收敛问题（Concept Contraction Problem，CCP）的定义如下所述。设 $L$ 为一个 DL，$R$ 和 $O$ 为 $L$ 中的两个概念，$T$ 是 $L$ 中的一套定理，其中 $R$ 和 $O$ 在 $T$ 下是可满足的。$\langle L, R, O, I\rangle$ 定义的 CCP 就是找出使 $T \vDash R \equiv G \cap K$ 成立、$K \cap O$ 关于 $T$ 可满足的一对 $\langle G, K\rangle \in L \times L$。那么 $K$ 就是根据 $O$ 和 $T$ 关于 $R$ 的一个收敛。

如果在收敛的过程中，没有任何资源可以保留在 $R$ 中，从匹配的角度看，此时的结果最糟糕 $<G, K> = <R, T>$，即放弃 $R$ 中所有的资源。相反，如果 $R \cap O$ 在 $T$ 下是可满足，则可能出现可能的匹配，此时无需放弃 $R$ 中任何资源并得到 $<T, R>$。因此，概念收敛问题相当于可满足性问题的扩展。由于人们通常希望放弃尽可能少的东西，因此必须为收敛定义一些标准。

如果提议的资源 $O$ 是关于 $R$ 的一个可能的匹配，在 $O$ 中为了完全满足 $R$，有必要对 $O$ 中的假说 $H$ 进行评估，使得 $H$ 完全满足 $R$ 并转换成完全匹配。Di Noia 等人对概念试推问题（Concept Abduction Problem，CAP）进行了定义。

设 $L$ 是一个 $DL$，$R$ 和 $O$ 是 $L$ 中的两个概念，$T$ 是 $L$ 中的一套定理，其中 $O$ 和 $R$ 在 $T$ 下是可满足的。$H$ 是根据 $R$ 和 $T$ 的一个关于 $O$ 的假说。$<L, R, O, I>$ 确定的 CAP 就是找出概念 $H \in L$，使 $T \vDash O \cap H \subseteq R$ 成立，且 $O \cap H$ 在 $T$ 下是可满足的。

若 $O \subseteq R$ 成立，则 $H = T$ 为 CAP 的解决方法。因此，概念试推问题等效于扩展容量问题。另一方面，若 $O \equiv T$ 成立，则 $H \subseteq R$ 成立。

### 6.4.2 RFID 数据表示

任何 RFID 应用程序通常都会产生一个三元组（$E, l, t$）形式的元组流。其中：

$E$ 为 EPC 编号。例如，存储于标签内并且与每一个标识对象相关的一个标识码；

$l$ 表示 RFID 阅读器扫描 EPC 编号为 E 的产品的地理位置；

$t$ 代表阅读事件发生的时间。

由于一个单一标签在同一个位置的读数可能有多个，从而产生大量的原始数据，因此运用数据清洗技术可对数据进行清洗。最常用的压缩技术将驻留记录中的原始数据转换成（$E$，$l$，$t_{in}$，$t_{out}$）表示形式，其中，$t_{in}$为标识对象进入位置 $l$ 的时间 time－in，$t_{out}$是标识对象离开位置 $l$ 的时间 time－out。尽管该方法能够减少待存储的数据量，但会造成对象转换信息的丢失。于是 Lee 和 Chung 提出了一种 RFID 数据表示方法，该方法主要用到产品的运动轨迹记录，其表达形式为

$$E:\ l_1[t^1\text{in},t^1\text{out},]\Rightarrow\cdots\Rightarrow l_k[t^k\text{in},t^k\text{out}]$$

式中，$l_1$，…，$l_k$ 为由 $E$ EPC 标签沿某路径的位置；$t^i$in 为进入位置 $l_i$ 的时间；$t^i$out 是离开位置 $l_i$ 的时间；数据序列按 $t^i$in 进行排列。

这种数据表示的缺点在于对路径依赖，因此该方法适用于沿标识对象的移动路径的查询（例如，在罗马，查询一批夹克从裁缝店出手到商店入库的平均时间）。为克服这个缺陷，引入了登记记录的概念，对用于多维分析的产品信息进行描述，表示形式为

$$E:\ [A_1,v_1],[A_2,v_2],\cdots,[A_n,v_n]$$

式中，$A_i$ 描述了 $E$ EPC 标识对象的属性；$v_i$ 为相应标识对象的值，与 $A_i$ 有关。

注意：①一条登记记录可用来表示来自不同细节级别的 RFID 数据的收集（如原始数据或登记记录）；②聚合以属性 $A_i$ 的不同组合为基础。

### 6.4.3　供应链索引

在供应链管理中，需要对对象转换进行分析。一个 RFID 标签标识的产品可以经过一条供应链中的多个位置。为追踪产品的活动状态，可将转换表示为图表中的一条路径 $l_1$，…，$l_n$，在供应链中利用图表进行自我描述。为了有效计算标签的活动路径，提出了将 DBMS 物理优化支持的方法和工艺用于供应链索引。据 Ban 等人和 Gonzalez 等人开发了 EPC 数据的特征来对标签进行分组，并通过位图索引排列标签。Lee 和 Chung 提出了一种编码方案，为每个路径分配一对（元素列表编码号（ELEN）—顺序编码号（OEN））。通过为供应链中的每个节点分配一个素数，将路径节点与该节点对应的相关值相乘，得到 ELEN。通过这种方式，标签路径的计算就是对分配给该路径的整数进行因子分解，而被分配数的素性保证了结果的正确性。另外，OEN 为能够对路径中节点间的排列进行编码的一个数值。

以上方案都存在一些不可忽视的缺点。Ban 等人及 Gonzalez 等人提出的方法均以 DBMS 优化和 EPC 编号之间的相似度假设为基础。Lee 和 Chung 提出的框架无法降低整数的素数因子分解的计算复杂度。由于一个供应链可以划分多个级别（通常有 4～10 个级别），据我们目前所掌握的方法，目前仍然没有有效的算法解决以

上问题。

De Virgilio 等人提出了一种对所有路径 $l_1$，…，$l_n$ 进行编码的基本方法，有效管理对象转换。其基本思想是利用有向的 sc 图 $G_s$ 对供应链 $s$ 建模，$G_s$ 的节点是供应链 $s$ 的位置，如果在 $s$ 中，对象从节点 $l_1$ 移动到节点 $l_2$，便设置一个从 $l_1$ 到 $l_2$ 的边界。例如，sc 图的源节点，没有输入边界的节点，通常为产品的生产位置。而 sc 图的目标节点，例如没有结束边界的节点，则通常为出售该产品的最终商店。令牌被分配给从源节点到目标节点的每条可能的路径。最后，通过为 sc 图的每个节点 $n$ 分配一组令牌对从源节点到目标节点的遍历 $n$ 的每条路径进行标记，完成了对每个节点的编码。路径编码方法示例详见图 6-1。

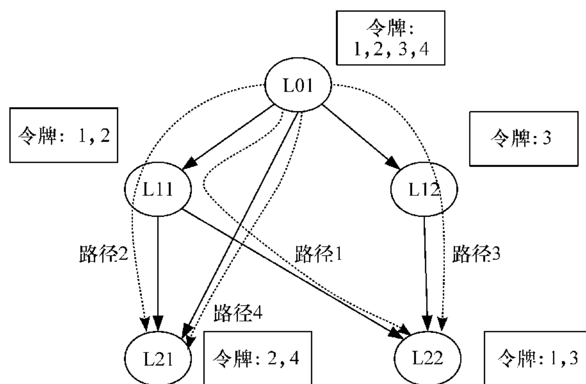



图 6-1　供应链索引

数据压缩

为对数据量非常庞大的 RFID 数据进行聚集查询，需要用不同的聚集因素压缩数据。例如，针对位置因素，可以按城市、区域或者乡村类别进行数据聚集分类。同样地，可以按品牌、种类或者价格对产品分类。

假设 $S=\{A_1, A_2, \cdots, A_n\}$ 为可用登记记录的属性描述。借用联机分析处理（on－line Analytical Processing，OLAP）的方法，根据不同的因素进行属性分类，例如位置、时间或者产品。同时，可为每种因素构建一个集合 $R=\{(x, r, y): x, y\in S\}$，其中 $r$ 代表了属性间的二元关系，例如 is－a，part－of 等。如此，可以从初始属性集构建分类。图 6-2 所示为一种可能的分类法：细箭头代表 part－of 关系，粗箭头表示属性间的 is－a 关系。

集合 $R$ 中适当因素定义的分类法使集合 $R$ 得到增强，集合 $R$ 是有意义的属性聚集。聚合因子被定义为属性的命题逻辑表达 $\varphi$，而属性发生在 $A_1$，$A_2$，…，$A_n$ 之间。不难发现，$\varphi$ 与分类法有关。例如，如果 $\varphi$ 和（$A_i$，part－of，$A_j$）中都发生 $A_i\wedge A_j$，由于 $A_j$ 比 $A_i$ 的聚集度高，因此 $A_i$ 与 $A_j$ 的联合将被 $A_j$ 取代。因此，可

以定义一组规则来简化使用分类法的聚集因素。图 6-2 所示供应链中可能的聚集因素有：$\varphi_1$ = （location ∧ time – in ∧ time – out） 和 $\varphi_2$ = （model）。直观地讲，$\varphi_1$ 对同时到达并同时离开同一地点的物品进行了分类，而 $\varphi_2$ 则对具有相似性的物品进行了分类。

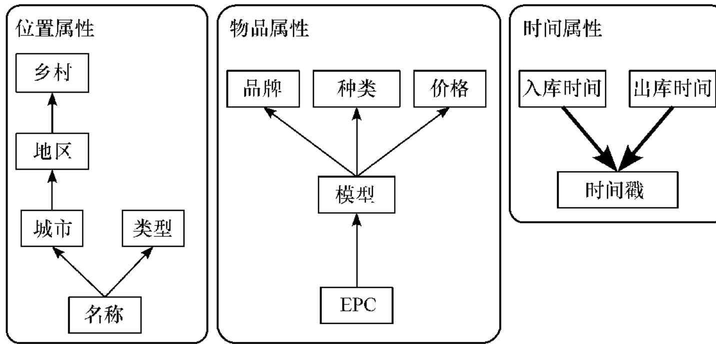



图 6-2　分类举例

已知登记记录 $r_1 = \{E_1; [A_1', v_1'], \cdots, [A_n', v_n']\}$ 和 $r_2 = \{E_2; [A_1'', v_1''], \cdots, [A_m'', v_m'']\}$，聚集记录 $r_A$ 的公式形式为 $\{E_{rA}; [r_1, r_2]\}$ 。如果 $r_1$ 和 $r_2$ 满足 $\varphi$，那么 $r_1$ 和 $r_2$ 将基于聚集因素 $\varphi$ 进行聚集。

**定义 4.1**（$\varphi$ – 可满足性）　给定 $A_1$，$A_2$，…，$A_n$ 的属性表达式 $\varphi$ 及登记记录 $r_1 = \{E_1; [A_1, v_1'], \cdots, [A_j, v_j'], \cdots, [A_m, v_m']\}$、$r_2 = \{E_2; [A_1, v_1''], \cdots, [A_j, v_j''], \cdots, [A_m, v_m'']\}$。如果 $r_1$ 和 $r_2$ 满足 $\varphi$，将 $\varphi$ 中的每个 $A_i$ 替换为原子（$v_i' = v_i''$，其中 $1 \leqslant i \leqslant n$）得到的公式是正确的。

这个概念可以用来说明一给定聚集因素条件下的聚集。

**定义 4.2**（$\varphi$ – 聚集）　给出聚集记录 $r_A$，如果每一对登记记录 $r_1$ 和 $r_2$ 出现在 $r_A$ 中且 $r_1$ 和 $r_2$ 都满足 $\varphi$，则 $r_A$ 为关于 $\varphi$ 的聚集。

因此，由聚集因素的序列 $\varphi_1$，$\varphi_2$，…，$\varphi_n$ 可以得到聚集 $F$。通常，供应链上的一条聚集记录就是目标对象库存记录。对象的运动被视为从源位置到目标位置运动的一组库存记录。基于这种假设，给出了包含性的定义。

**定义 4.3**（包含性）　给定聚集记录 $r_{A_1} = \{E_{rA_1}; [r_1, r_2, \cdots, r_n]\}$ 和 $r_{A_2} = \{E_{rA_2}; [r'_1, r'_2, \cdots, r'_m]\}$，如果每个 $r_i$ 既存在于 $r_{A_1}$ 中又出现在 $r_{A_2}$ 中，则 $r_{A_1}$ 包含 $r_{A_2}$，即 $r_{A_1} \lhd r_{A_2}$。

对象转换可以被视为从一个仓库到另一仓库的运动。因此，可以定义观测为一个对象的转换事件并由一对（$s_1$，$s_2$）进行表示，其中 $s_1$ 是一个仓库，该仓库中的物品包括来自仓库 $s_2$ 的一系列物品，从而产生 $s_1 \lhd s_2$。

## 6.5　框架和方法

供应链的分析主要有两种类型：产品控制和批量控制。前者是在线执行，旨在发现符合控制器或顾客要求的既定特征的物品（产品）。后者是离线执行，是对成品批次流的更高级的抽象化。这两种类型分析有助于供应链中的参与者（从生产者到零售商再到顾客），根据物品的相关特性对大批量的物品进行管理和控制，同时轻而易举地跟踪和检索/找回特定物品或一组物品。

本节主要陈述了基于 EPCglobal RFID 的框架。基于该框架，在普适计算环境下，可独立并自动地发现标识物品，或对离线数据存储的大量集中分析进行聚集。

### 6.5.1　在线对象发现

在线对象发现需要在产品特征和用户需求之间进行深入的比较。先进的（或自动化的）匹配技术可以促进有用发现结果的快速生成，使结果满足用户需求的表达能力和可接受的计算复杂度。其中，匹配技术要求以机器可理解的形式表达。由于受空间、功率和成本的限制，RFID 目前仍然存在存储容量小、没有处理能力、通信距离短、无线链接的吞吐量低等问题。此外，RFID 应用领域中每个移动式阅读器只能访问其识读范围内的微器件的信息。因此，基于中心控制和统一信息存储的方法是不切实际的。另外，当缺乏有效的网络基础设施、采用的设备受资源限制时，KR 工艺和技术可极大提高发现过程的效能。基于语义的资源注释和匹配，以及基于逻辑的排序和解释服务可以大幅改善资源检索的体验。此外，随着 EPCglobal RFID 标准协议的加强，无需依赖有线基础设施，用户也可以与 RFID 系统交互，尽管这种加强对用户隐藏了技术细节。

在 Di Noia 的研究报告中，我们提出了基于知识的 EPCglobal RFID。其主要目标是尽可能多地利用原有技术保证向后兼容。为确保新的基于语义的对象发现应用程序与传统的对象识别、跟踪的兼容性和平滑共存，基于知识的 EPCglobal RFID 保留了读/写标签的标准，能够访问原有的基于代码 RFID 数据。在提出的框架中，RFID 应答器符合 EPCglobal 标准——Ⅰ类第 2 代 UHF 标签的标准（假设阅读器熟悉这种技术的基础）。提出的框架在模拟运行和应用案例研究中都进行了测试，包括在产品生命周期的每个阶段——从原材料到生产、零售到售后服务都体现出其优势。

在采用先进的基于语义的 RFID 技术时必须解决一些重要的限制因素。首先，提高当前 RFID 系统的带宽和存储器容量约束，以满足 RFID 技术大规模采用的成本需要。由于技术上的改进和需求的增长，具有更大内存容量的无源 RFID 标签有望被采用。然而，诸如 OWL 和 DIG 等 XML 本体语言，由于过于冗长以致无法在

RFID 标签内存储。另外，需要区别基于语义技术的标签和标准标签的机制，以便使基于语义的应用在不妨碍原有应用的情况下开发新的特征。

为推进先进的基于语义的 RFID 技术，不需要出台新的命令和修改，RFID 标签和空中接口协议必须保证对语义上带注释的参考本体产品描绘的读/写能力和更多面向数据的属性。于是，我们对符合前面提及标准的标签的内容组织进行了扩展。

TID 存储器的容量仍然是 $1F_h$ 位。TID 中的第 1 个字节为标签的类识别值 $E2_h$，选项信息可以存储到地址从 $20_h$ 开始的辅助 TID 存储器中。存储形式如下：

1）对于选项协议特征的一个 16 位字，存储地址从 $20_h$ 开始，其中 $20_h$ 是最重要的比特位：当前，仅仅最重要的比特位用来指示某标签是否是基于语义技术的；其他比特位都为备用位。

2）对描述相关的本体论进行标记的一个 32 位的本体论通用唯一识别码（Ontology Universally Unique Identifier，OUUID）被存储在标签中。

通过这种方法，利用表 6-1 中一条带有参数值的 Select 命令，阅读器可以轻松地区分基于语义的标签。三元组 < MemBank，Pointer，Length > 的值标识了 TID 存储器的 $20_h$ 地址中的一个比特位。阅读器要求其识读范围内的每个标签匹配阅读器与位掩码 $1_2$。匹配的结果仅对基于语义的标签是可效的。Target 和 Action 的参数值意味着如果出现正确匹配，标签必须对其 SL 标志进行设置并清空其他值。表 6-1 所示库存步骤跳过 SL 标志已清零的标签，从而阅读器只能识别基于语义的标签。由于属于该库存步骤的协议命令均以标准形式被采用，因此没有对协议命令进行介绍。

**表 6-1 只对基于语义的标签进行识别的 Select 命令**

| 参数 | Target | Action | MemBank | Pointer | Length | Mask |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 取值 | $100_2$ | $000_2$ | $10_2$ | $00100000_2$ | $00000001_2$ | $1_2$ |
| 描述 | SL 标志 | 设置（如果匹配） | TID 内存库 | 初始地址 | 将要进行比较的比特位 | 位掩码 |

为了检索存储在标签中的 OUUID 信息，阅读器将使用表 6-2 中的参数值开发一条“Read”命令。MemBank 的参数值用于识别 TID 内存库，WordPtr 取值明确规定识读过程中必须从第三个 16 位的字开始识读，例如，从 $20_h$ 地址开始识读。WordCount 参数表示已经读出了 32 位（两个 16 位的字）。

**表 6-2 从 TID 内存中提取 OUUID 信息的 Read 命令**

| 参数 | MemBank | WordPtr | WordCount |
|---|---|---|---|
| 取值 | $10_2$ | $00000010_2$ | $00000010_2$ |
| 描述 | TID 内存库 | 初始地址 | 读取 2 个字（32 位） |

标签的用户内存存储了上下文参数（根据具体的应用定义其含义）和产品注释。为了克服存储空间的限制，为基于 XML 的本体语言研究了专门的压缩算法，用于上下文参数和产品注释的编码。利用一条或多条“Read”和“Write”命令，RFID 阅读器便可对来自标签的描述执行信息提取和存储。显然，“Read”和“Write”命令应与 RFID 空中接口标准兼容。表 6-3 列出了“Read”命令相关的参数值，该命令主要用来提取用户内存中的所有内容，包括上下文参数和压缩的注释。

**表 6-3　从用户内存库中提取语义注释描述的 Read 命令**

| 参数 | MemBank | WordPtr | WordCount |
|---|---|---|---|
| 取值 | $11_2$ | $00000000_2$ | $00000000_2$ |
| 描述 | 用户内存库 | 初始地址 | 全部识读 |

EPCglobal 标准通过所谓的对象名称服务（Object Naming Service，ONS）为 RFID 技术提供了基础设施支持。在本章方法中，ONS 机制视为提供本体信息支持的辅助系统。如果阅读器不能管理标签内提供描述的本体信息，那么可以利用 ONS 来检索本体信息。EPCglobal 网络协议参数注册保留了所有注册的服务的后缀（Web 服务的后缀为 ws，EPCglobal 信息服务的后缀为 epcis（提供与 EPC 编码有关的对象的官方信息），制造商的网页后缀为 html）。我们设想使用一个具体的 OUUID 值注册一个新的后缀 dig，用于本体配置服务。

## 6.5.2　离线批量分析

离线供应链数据分析包括以下步骤：

1）输入参考供应链。将其作为给定供应链 sc 图 $G$（$V$，$E$）拓扑结构的输入。其中节点 $V$ 为位置变量，边 $E$ 代表了两个位置之间的移动轨迹。sc 图被输入相关的 DBMS 和索引中。

2）专家用户设置属性分类，并且根据参与者建议的查询定义了聚集因素。

3）RFID 阅读器收集原始数据。在预处理阶段，原始数据被压缩成驻留记录并按照 $t_{in}$ 的先后顺序进行排序。然后由用户定义的聚集因素生成一组具体化的、有索引的聚集登记记录。如此，便将压缩数据集输入到 RDBMS。

4）最后，用户可以提交询问到前端接口，并检查系统提供的答案。

下面对聚集过程进行详细的介绍，并举例说明了聚集记录的存储机制。

### 6.5.2.1　数据聚集

给定一条聚集记录 $F = [\varphi_1, \varphi_2, \cdots, \varphi_n]$ 和按 $t_{in}$ 排序的驻留记录序列 $SR$，$F$ 被应用到 $SR$ 以产生聚集登记记录 $ARS$。注意，只有局部应用时，聚集才变得有意义。换句话讲，只有具有相同位置信息的记录才会被聚集。由于信息明细都包含

在标识项目中，在整个供应链中就不需要集中的后端。每个供应链的合作人对供应链中的项目的属性和登记记录都是非常清楚，并利用项目自带的基础设施对离线数据进行分析。然后，每一个节点根据相关度最大的业务分析因素执行聚集，并按照具体的管理目标进行筛选。该方法同时解决了物品“所有权”变更的问题，例如，当物品在不同的合作者之间流动（甚至跨越不同国家）或者在不同的包装中重新分配。

于是我们提出了简单的聚集策略。

1）来自同一个位置的记录被聚集在集合 $L$ 中。

2）聚集因素 $\varphi_i$ 被按序应用到 $L$ 中的元素：如果存在聚集记录 $rd_A$，使得 $L$ 中的元素 $R'$ 和 $rd_A$ 都满足 $v$，那么 $P'$ 可被嵌入到 $rd_A$ 中；否则，就创建一条来自于 $R'$ 的新聚集记录。

例如，假设表 6-4 所列为图 6-1 所示供应链中流通的某服装的三条登记记录。

**表 6-4　登记记录聚集记录**

| 记录 | EPC | 模型 | 价格 | 数量 | 位置 | $t_{in}$ | $t_{out}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $r_1$ | clt01 | Polo | 160 | 1 | L12 | 4 | 6 |
| $r_2$ | clt02 | Polo | 160 | 1 | L12 | 4 | 6 |
| $r_3$ | clt03 | Suit | 400 | 1 | L12 | 4 | 6 |

现在，假设聚集记录 $F = [\varphi_1, \varphi_2]$ 是由 $\varphi_1 =$（time_in ∧ time_out）和 $\varphi_2 =$（model）因素产生的。其中，$\varphi_2$ 产生两条记录：$r_{A_1} = \{r_1, r_2\}$ 和 $r_{A_2} = \{r_3\}$。最后，通过 $\varphi_1$ 得到聚集记录 $r_{A_3} = \{r_{A_1}, r_{A_2}\}$。

其中，最后一步包括构造观测数据以及为每一个观测数据分配一个令牌。对该过程进行阐述的算法描述如下。按照 time_in 排序的聚集记录 $ARS$ 序列为输入，供应链 $C$ 即 sc 图 $C$（$V_C$，$E_C$）和示意图 $LM$，$LM$ 为分配给每一个位置的令牌列表。输出为示意图 $OM$，$OM$ 的观测数据都具有一个令牌。

1）从 $ARS$ 中的最后一条记录 $AR$ 开始，直到寻找到包含 $AR$ 的聚集记录。

2）如果没有发现包含 $AR$ 的聚集记录，则生成一个新的观测数据，并从 $LM$ 中提取与 $AR$ 地址相对应的令牌清单，其中第一个令牌被分配给得到的新观测数据。

3）另外，当 $AR \lhd AR'$ 时，将产生一个新的观测数据。位置 $AR$ 和 $AR'$ 的两个令牌清单的交集即为待分配的令牌，到达位置 $AR'$ 的其他路径的令牌除外。

#### 6.5.2.2　数据存储

图 6-3 所示的关系模式包含了上述处理方法得到的 RFID 数据信息。其中，PATHMAP 和 LOCATION 存储了供应链的信息。PATHMAP 中的每条登记信息都有一个外部参考 LOC_ ID 到具有相关令牌的 LOCATION。如果多个令牌与一个特定

的位置相关联，那么 PATHMAP 中将存在更多与该位置相关的信息。属性 DEPTH 为当前路径到 LOC_ ID 识别的地点位置的长度测量估计。ITEM 存储了产品信息，包括 EPC 信息和产品聚集的最后一个仓库。ATTRIBUTE 聚集了建立 ITEM 和 LOCATION 之间联系的属性，并且这些属性通过 ATTRIBUTE_ LIST 实现与一个属性表的关联，使得每个属性都有一个相对应的属性值。OBSERVATION 跟踪所有的聚集变化，其中 STOCK 属性为在特定 LOCATION 观测得到的当前聚集，该聚集包含了来自 PREV_ STOCK 的项目/物品信息。每个观测数据存储着库存项目编号及穿过的位置信息（COUNT 和 DEPTH 属性），当库存进入和离开某位置时，将分别分配令牌和时间（T_ START 和 T_ END 属性）。

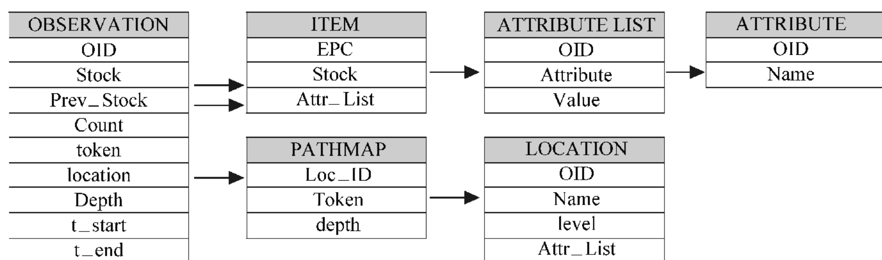



图 6-3　存储模型

由于输出表格可能非常庞大，于是深度开发了关系型数据库管理系统（DBMS）的能力用于优化存储模型以获得更好的性能。首先是分割优化，即将表格水平划分成多个更小的物理表格。每次分割都沿用了原表的母版结构。分割是按行执行的，并按列值排列。例如，在 OBSERVATION 表中，属性 LOCATION 被开发为列（见图 6-4）。如果需要，可以将得到的小表格关于另一列属性进行进一步的分割，例如按时间进行进一步分割。分割过程对用户是不公开的。STOCK、OID 和 LOC_ ID 分别被设置为 ITEM、ATTRIBUTE_ LIST 和 PATHMAP 的列。另外，在整个表格的完整集合上定义了树状图索引 $B^+$。显然，需要为待分割行定义非聚簇索引，其他的索引被用在单一分割。而聚簇索引将被用在每个 OBSERVATION 分割中的 STOCK 上。

#### 6.5.2.3　查询处理

供应链分析以查询对象转换为基础。许多基于路径选择的查询方法即跟踪查询只能查询给定标签的运动历史记录。为了进行更灵活的供应链分析，Lee 和 Chung 提出了一种查询模板，该模板综合了跟踪查询和面向路径的查询方法，分为面向路径的检索查询和面向路径的聚集查询。前者可查找满足给定路径和时间条件的标签，后者则计算满足规范的标签的聚集值。作者使用类 XPath 语言正则化查询模板并表达查询。这里，我们将使用相同的正则化方法并阐述一种处理跟踪查询和面向

OBSERVATION

| oid | stock | prevstock | count | token | depth | location | t_start | t_end |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| obs1 | stock01 | stock01 | 8 | 1 | 1 | L01 | 2 | 3 |
| obs3 | stock03 | stock01 | 2 | 3 | 2 | L12 | 4 | 6 |
| obs4 | stock04 | stock01 | 3 | 1 | 2 | L11 | 5 | 7 |
| obs6 | stock06 | stock01 | 1 | 1 | 2 | L11 | 7 | 8 |
| obs2 | stock02 | stock01 | 1 | 4 | 2 | L21 | 4 | 5 |
| obs5 | stock05 | stock01 | 1 | 4 | 2 | L21 | 5 | 6 |
| obs9 | stock09 | stock04 | 1 | 2 | 3 | L21 | 13 | 16 |
| obs10 | stock10 | stock06 | 1 | 2 | 3 | L21 | 14 | 18 |
| obs7 | stock07 | stock03 | 1 | 3 | 3 | L22 | 7 | 8 |
| obs8 | stock08 | stock04 | 2 | 1 | 3 | L22 | 8 | 9 |

图 6-4　水平分割

路径查询的方法。由于使用了 RDBMS，查询将被翻译成 SQL（结构化查询语言）。

在跟踪查询方法中，给定一个标签的地址 tag_ id，要得到一个标签流（即地址清单），则需要找出表示对象所在库存以及分配给观测数据的令牌，其中的观测数据与库存本身相对应。在前面介绍的关系模式中，查询 ITEM 表获得库存地址 stock－id，利用 OBSERVATION 表可提取分配给相关观测数据的令牌信息。最后通过查询 PATHMAP 表可返回由提取的令牌标注的所有位置信息。位置的清单由属性 DEPTH 提供。接下来便执行相应的 SQL 编码。

```
SELECT P.LOC_ID
FROM PATHMAP P, OBSERVATION O, ITEM I
WHERE I.EPC=<tag_id> AND O.STOCK=I.STOCK
  AND P.TOKEN=O.TOKEN
ORDER BY P.DEPTH
```

面向路径的检索查询中，给定一条由类 XPath 语法表示的路径，返回标签清单。这种情形下，可利用存储在 OBSERVATION 中的库存和令牌信息来选择项目/物品。另外，还要处理不同位置之间的关系。假设位置 $L_1$ 和 $L_2$ 是父－子关系（即 $L_1/L_2$），则查询 PATHMAP 并选择令牌，选择的令牌应使 $L_2$ 的深度比 $L_1$ 的深度大 1 个深度。否则，如果位置 $L_1$ 和 $L_2$ 是祖先－后代关系（即 $L_1//L_2$），则选择满足 $L_2$ 的深度比 $L_1$ 的深度大的令牌。假设查询事件// $L_1$/ $L_2$，则将其翻译成以下 SQL 语句：

```
SELECT I.EPC
FROM PATHMAP P1, PATHMAP P2, OBSERVATION O, ITEM I
WHERE P1.LOC_ID=MD5('L1') AND P2.LOC_ID=MD5('L2')
  AND P2.DEPTH=(P1.DEPTH+1) AND O.LOCATION='L2'
  AND O.TOKEN=P2.TOKEN AND I.STOCK=O.STOCK
```

当条件 P2. depth > P1. depth 成立时，才能够把查询事件// $L_1$// $L_2$ 翻译成 SQL 语句。无论如何，面向路径的检索查询中可能存在多个不同的约束条件，如果那样的话，则须添加选择条件到 ITEM 和 OBSERVATION。例如，用时间条件丰富之前的查询，如//$L_1$/$L_2$［t_ end < 200］。对于先前的 SQL 编码，必须添加条件 O. t_end < 200 到 WHERE 从句中。而面向路径的聚集查询则将聚集作用增加到 SQL 查询的 SELECT 从句中，例如 COUNT，SUM，MAX 等。

## 6.6　实验评估

如 6.5 节中所述，本章提出的架构可在两个不同的阶段进行数据分析。接下来，在给定的通用电子商务情景中利用基于语义的对象注释来发现指定的玩具以验证对象发现；此外，对大量数据的离线数据检查进行概述。基准系统是双核的 Intel Xeon 2.66GHz 的个人计算机，运行环境为 Linux Gentoo 操作系统，拥有 8GB 的 RAM 内存、6MB 的高速缓冲内存和两块 1TB 的使用条纹化的磁盘阵列。由于 PostgreSQL 8.3 数据库管理系统是较为有效的商业数据库工具，因此我们采用该系统开展实验。两条不同的服装生产和销售供应链分别被定义了 20 和 100 个节点（即 Chain20 和 Chain100）。这两条供应链都存在 7 个级别，也就是说这两条供应链中，一条路径的最大长度等于 7。

### 6.6.1　在线资源发现

基本上，实时发现可应用到供应链的末端部分，即顾客和零售商。当需要实时知识表示为基础的决策支持时，产品生产和销售的不同阶段也可应用实时发现。我们提出的匹配架构利用了 6.4 节描述的推理，适用于更广范围的资源发现。本节以服装产品领域为实验对象。如下所述，为了简化典型的供应链交互顺序，这里，只对供应链的最后一步进行详细刻画。

1）原材料的选择。某夹克厂订购的一批纱线，通过标记在集装箱上的基于语义功能的 RFID 标签对纱线进行识别和描述，并在抵达工厂仓库时扫描这些标签。由于产品的可追溯性需求，标签除了存储 EPC 代码外，还必须存储标识对象的体积、重量和时间戳等定量数据。纱线及其生产过程的定性信息也存储在标签内，被表示为服装行业本体论的语义注释。工作人员根据 RFID 阅读器在仓库门口获取的信息可实现多种应用目的：

① 通过对纱线执行语义查询，可立即核实纱线是否满足与供应商签订的合同规定的产品/工艺要求。

② 根据具体的存储条件要求（如温度、湿度等），可将每种类型的纱线分配到不同的仓库中。

2）制造和包装。每种类型的纱线可以根据属性的不同从仓库分配到不同的生

产部门。然后，在产品包装期间，生成语义功能的 RFID 标签，并在输送包装箱前将标签附着于每个包装箱表面。关于原材料的带语义注释的描述信息可以被最终的产品继承；在我们的方案中，夹克可以继承纱线的信息，如布料和颜色信息等。需要注意的是，信息的继承并不需要集中式的后端基础设施提供支持：就好比生产过程以原材料为输入，产品为输出，通过工厂内支持 RFID 的移动 Ad Hoc 网络可实现信息从原材料标签转移到产品标签中。

3）销售。顾客进入一个采用了电子商务系统的经销店后，该系统能够协助顾客发现更多可用的物品。具体情况如下。

商店的物品使用 RFID 应答器标签进行标识，其中标签中存储了 EPC 代码、OUUID、压缩语义描述和面向数据的属性等信息。本案例研究采用一种简化的服装行业本体论；价格和身体部位作为面向数据的属性。身体部位参数是指身体的特定部位，见表 6-5。

**表 6-5　身体部位与相应的属性值之间的关系**

| 值 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 身体部位 | 手 | 头 | 胸部（外层） | 胸部（内层） | 腿 | 脚 |

当顾客进入试衣间试穿服装产品时，代表用户执行请求。该请求以顾客挑选的服装的带语义标注的描述为基础。其中，描述是由部署在试衣间的 RFID 阅读器识读获取的。为了满足顾客要求，本地商店热点从企业的后端数据库中检索指定本体的资源描述，并执行基于语义的匹配。部署在经销店中的 RFID 阅读器和无线电设备通过基于代理和面向信息的中间基础设施进行协作。Chamberlain 等人已在 IBM WebSphere RFID 跟踪工具包上构建的原型，为移动应用程序中的若干异构设备的业务流程提供了总框架。为使所提方法更具特殊性，我们将基于语义功能的层级集成到上述原型中。

假设以下案例研究：一男子进入一家经销店购买几套端庄的服装。他发现一件精致的深绿色夹克，并决定试穿。传感器检测到该顾客已进入试衣间。于是触发 RFID 阅读器并读取存储在夹克标签中的数据。识读完毕后，RFID 阅读器停止工作。注释的数据为端庄型、大号、深绿色夹克、亚麻布料、适合成年男性秋季着装，配有纽扣和五个口袋。相对于参考本体，对应的 DL 表达式是（为了简明起见，我们没有作特别说明）：

$$Jacket \sqcap = 1\ hasColors \sqcap \exists hasFastenings \sqcap \forall hasFastenings.Buttons \sqcap \forall hasMainColor.DarkGreen \sqcap \exists hasMaterials \sqcap \forall hasMainMaterial.Linen \sqcap \forall hasPattern.Plain \sqcap = 5\ hasPockets \sqcap \forall hasSize.Large \sqcap \forall hasSleeves.LongSleeves \sqcap \forall hasStyle.Elegant \sqcap \forall suitableForAge.YoungAdult \sqcap \forall suitableForGender.Male \sqcap \forall suitableForSeason.Fall$$

这种简单注释的等效 DIG 表达式长度是 1592B。物理对象的描述表达式相比该表达式要大好几倍。压缩技术将注释的长度缩小至 210B，因此压缩后的注释和对

象的 EPC 便能够在 RFID 标签中存储。在这种情况下，对应的对象价格为 195 美元，身体部位值是 3。

顾客在试衣间内像往常一样试穿夹克。此时，启动嵌入式的触摸屏，则物品详细信息全部显示在显示屏上。顾客可以利用这些信息建立自己的语义请求。需要注意的是，这个请求是一种 DL 合取查询，其中每个概念代表了一种期望的特征。顾客可以通过图形化的用户界面进行请求定制。

如果顾客喜欢自己的夹克，那么就会挑选与自己的夹克类似的夹克。顾客从系统提供的参考夹克中设置 200 美元的目标价格，并删除“季节”约束条件。针对顾客的这种请求，DL 表达式就变为：

**D:** $Jacket \sqcap = 1\ hasColors \sqcap \exists\ hasFastenings \sqcap \forall\ hasFastenings.Buttons \sqcap \forall\ hasMainColor.DarkGreen \sqcap \exists\ hasMaterials \sqcap \forall\ hasMainMaterial.Linen \sqcap \forall\ hasPattern.Plain \sqcap = 5\ hasPockets \sqcap \forall\ hasSize.Large \sqcap \forall\ hasSleeves.LongSleeves \sqcap \forall\ hasStyle.Elegant \sqcap \forall\ suitableForAge.YoungAdult \sqcap \forall\ suitableForGender.Male$

顾客确认请求。请求现已被翻译成压缩的 DIG 描述，使用上述相同的方式，将用户请求与用户提供的目标值关联。假设下述产品在服装商店知识库中可用：

S1：端庄、大号、灰色西装、亚麻布料、适合成年男子春季着装、有两个纽扣和十个口袋。价格是 678 美元，身体部位值是 3：

$Suit \sqcap \forall\ hasMainColor.LightGray \sqcap \forall\ hasMainMaterial.Cotton \sqcap = 10\ hasPockets \sqcap \geq 2\ hasFastenings \sqcap \forall\ hasFastenings.Buttons \sqcap \forall\ hasPattern.Plain \sqcap \forall\ hasSize.Large \sqcap = 2\ hasLegs \sqcap \forall\ hasLegs.PipeLegs \sqcap \forall\ suitableForAge.Adult \sqcap \forall\ suitableForGender.Male \sqcap \forall\ suitableForSeason.Spring \sqcap = 2\ hasMaterials \sqcap \exists\ hasColors \sqcap \leq 1\ hasColors$

S2：中号的蓝色牛仔裤、适合休闲的年轻成年男性春季着装、直筒型和五个口袋。价格为 190 美元，身体部位值是 5：

$Trousers \sqcap = 1\ hasColors \sqcap \forall\ hasMainColor.MediumBlue \sqcap \geq 2\ hasFastenings \sqcap \leq 2\ hasFastenings \sqcap \forall\ hasLegs.PipeLegs \sqcap \forall\ hasMainMaterial.Jeans \sqcap = 1\ hasMaterials \sqcap \forall\ hasPattern.Plain \sqcap = 5\ hasPockets \sqcap \forall\ hasSize.Medium \sqcap \forall\ hasStyle.Casual \sqcap \forall\ suitableForAge.YoungAdult \sqcap \forall\ suitableForGender.Male \sqcap \forall\ suitableForSeason.Spring$

S3：端庄型、大号、深蓝色夹克、亚麻布料、适合年轻成年男性秋季着装，有纽扣和五个口袋。价格为 190 美元，身体部位值是 3：

$Jacket \sqcap = 1\ hasColors \sqcap \exists\ hasFastenings \sqcap \forall\ hasFastenings.Buttons \sqcap \forall\ hasMainColor.MidnightBlue \sqcap \exists\ hasMaterials \sqcap \forall\ hasMainMaterial.Linen \sqcap \forall\ hasPattern.Plain \sqcap = 5\ hasPockets \sqcap \forall\ hasSize.Large \sqcap \forall\ hasSleeves.LongSleeves \sqcap \forall\ hasStyle.Elegant \sqcap \forall\ suitableForAge.YoungAdult \sqcap \forall\ suitableForGender.Male \sqcap \forall\ suitableForSeason.Fall$

S4：端庄型、中号、条纹淡紫色夹克、合成纤维、适合成年女性春季着装，有纽扣

和两个口袋。价格是 194 美元，身体部位值是 3：

$$Jacket \sqcap = 3\ hasColors \sqcap \exists\ hasFacings \sqcap = 1\ hasFastenings \sqcap \forall\ hasFastenings.Buttons \sqcap \forall\ hasMainColor.Lavender \sqcap = 3\ hasMaterials \sqcap \forall\ hasMainMaterial.Synthetic \sqcap \forall\ hasPattern.Striped \sqcap = 2\ hasPockets \sqcap \forall\ hasSize.Medium \sqcap \forall\ hasSleeves.LongSleeves \sqcap \forall\ hasStyle.Elegant \sqcap \forall\ suitableForAge.Adult \sqcap \forall\ suitableForGender.Female \sqcap \forall\ suitableForSeason.Spring$$

商店的服务器执行以上匹配。匹配结果见表 6-6。其中，得分栏为距离测量，得分越低，匹配越好；S3 是当前相似搜索中最好的供应。S4 与 D 不匹配，虽然它们都代表夹克，但 S4 为女性服装，故其匹配效果最差。

**表 6-6　匹配结果**

| 供应 | 适合性（是/否） | 得分 |
|---|---|---|
| S1：男士灰色西装 | 是 | 4.458 |
| S2：男士蓝色牛仔裤 | 否 | 4.618 |
| S3：男士深蓝色夹克 | 是 | 0.97 |
| S4：女士淡紫色夹克 | 否 | 8.974 |

顾客可以预订一件或多件商品。预订请求被送至本地服务器，通知提前准备好商品。除此之外，如果顾客对这次的匹配结果不满意，他可以更改请求并再次发送。最后，顾客离开试衣间，决定是否购买。传感器检测到顾客的离开事件，则试衣间等待下一个顾客的到来。

软件模拟的 RFID 平台正在对系统性能进行详尽的实验评估。迄今为止，主要有两种类型的实验报告：

1）带语义注释的产品描述的压缩率和 DIG 查询。

2）对来自模拟 RFID 标签的压缩语义资源注释的识读和解码性能。

我们使用 70 个不同的 DIG 文件（从 609B 到 793KB）对压缩率进行了测试。测试目的是评估较小实例和较大本体的压缩性能。整体平均压缩率是 $92.58\% \pm 3.58\%$。对于较大的文件，显然需要更高的压缩率，但对于小于 2KB 的 DIG 文件，平均压缩率为 $87.05\% \pm 2.80\%$，显然，该数值满足我们的要求。

对模拟 RFID 标签采集到的压缩语义资源注释的识读和解码次数的评估，旨在评价我们的方法对 RFID 系统性能的影响。初步实验使用前面提及的 RFID 模拟平台，识读速度高达 500 标签/s，而独立的信息源，通常情况下，使用 Ⅰ 类第 2 代 UHF RFID 系统的识读速度范围约为 7 标签/s ~ 100 标签/s。以上实验表明，相对于传统的 RFID 应用，基于语义功能的 RFID 应用性能更优越。反过来，传统的 RFID 应用不会从新引入的特征中出现任何性能的退化，因为它们只读取 EPC。

### 6.6.2　离线数据分析

离线批量数据分析可以在供应链中的每个节点上执行。以前述服装行业情景为

例，零售商店可以根据产品的属性汇总同一属性产品的销售记录的方式监控产品销售业绩，并为其业务目标提取相关信息。

经销店的数据库中存储的产品驻留记录包括售出商品的 EPC 代码、入库时间和出库（如被售出）时间等信息。这些信息按照产品模型、入库时间和出库时间进行聚集（如 6.5.2.1 节所示范例）。经销店要统计本年度的夹克销售业绩，特别要对来自不同供应商的夹克的销售情况进行对比，以便确定销售最好的那款夹克。

假设经销商在供应链位置图中由 L0 标记，该经销店的三个供应商分别用 L1、L2 和 L3 表示。对每个供应商 *Lx* 而言，2010 年 1 月 1 日以后的夹克销售数量可以通过面向路径的聚集查询进行检索。利用类 XPath 语言进行检索的表达式如下：

//*Lx*/L0 [$t_{end}$ > '2010 - 01 - 01 00:00:00' and model = 'Jacket']

利用 SQL 查询从关系数据库中进行检索的表达式如下：

```
SELECT COUNT(I.EPC)
FROM PATHMAP P1, PATHMAP P2, OBSERVATION O, ITEM I,
ATTRIBUTE_LIST L, ATTRIBUTE A
WHERE P1.LOC_ID=MD5(Lx) AND P2.LOC_ID=MD5(L0)
AND P2.DEPTH=(P1.DEPTH+1) AND O.LOCATION=L0
AND O.TOKEN=P2.TOKEN AND I.STOCK=O.STOCK
AND I.T_END>'2010-01-01 00:00:00'
AND I.STOCK=L.OID AND L.ATTRIBUTE=A.OID
AND A.NAME='Jacket'
```

其中，COUNT 聚集的作用是对销售商品的数量进行评估。采用类似的方式可获取其他关注的信息。例如，管理层人员需要了解从不同供应商处订购的裤子被售出前在经销商处驻留的平均时间，以便调整订购数量。需要特别指出的是，数据聚合属性的选择对可应用的查询有着直接的影响，因此必须下调管理人员制定的关键绩效指标（Key Performance Indicator，KPI）。当然，供应链中的任意参与者都可以通过基于属性的数据聚集、跟踪查询和面向路径查询的联合查询方法，评估各自的商业目标业绩指标。

为评估框架对大量数据分析的性能，诸多学者广泛开展了实验研究。所提方法与 Lee 和 Chung 提出的方法进行了性能比较，并命名为 *Path*。作者设计的存储 RFID 数据的关系模式如下：

```
PATH_TABLE(PATH_ID, ELEN, OEN)
TAG_TABLE(TAG_ID, PATH_ID, START, END, TYPE)
TIME_TABLE(START, END, LOC, START_TIME, END_TIME)
INFO_TABLE(TYPE, MODEL, BRAND, CATEGORY, PRICE)
```

在该关系模式中，TAG_ TABLE 涉及跟踪记录表达的相关信息；PATH_ TABLE 根据 ELEN 和 OEN 系数（见 6.4 节）存储着路径移动的信息；TIME_ TABLE 为时间信息（即对应位置处的 $t_{in}$ 和 $t_{out}$）；INFO_ TABLE 为产品信息的描述（如型号、品牌、类别和价格）。6.4 节中介绍的属性分类系统已用于合成驻留记录，该记录通过沿每条供应链随机设置运动和时间信息而产生。假设两条供应链共生成

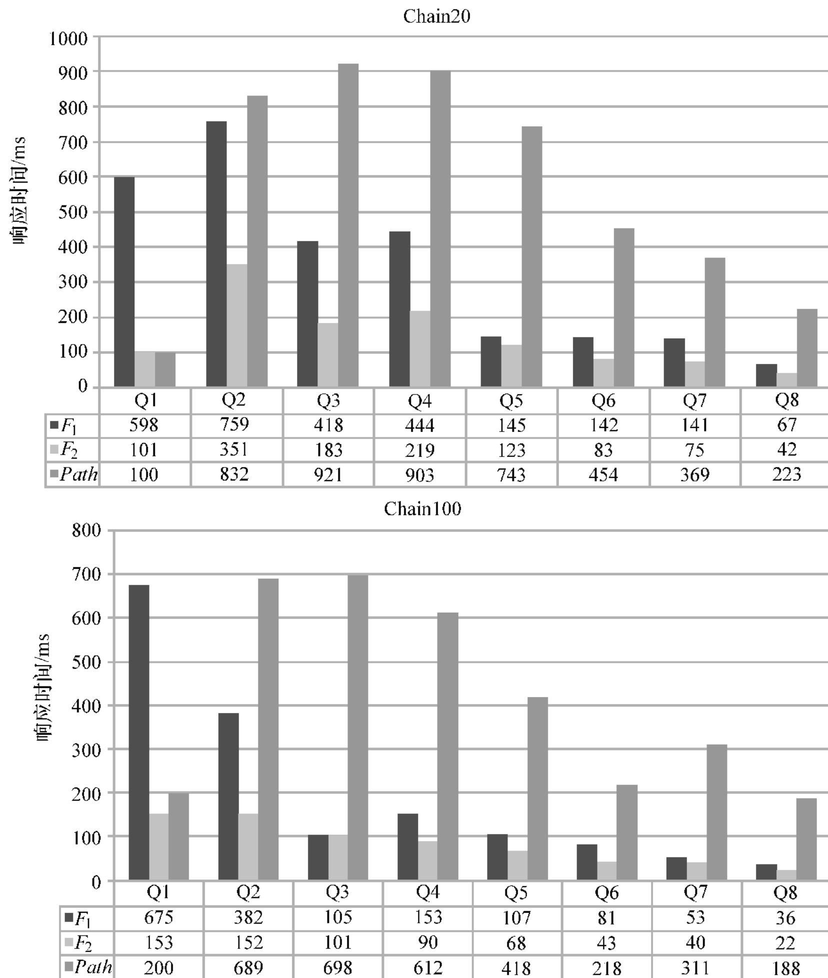
50 万条驻留，两种聚集：$F_1 = [(t_{in} \wedge t_{out}),(EPC)]$ 和 $F_2 = [(t_{in} \wedge t_{out}),(model)]$。其中，$F_1$ 为低聚集，而 $F_2$ 则是被压缩的聚集。使用 Lee 和 Chung 提出的模板，我们制定了 8 种查询，如表 6-7 所示。Q1 是跟踪查询，Q2、Q3、Q4 和 Q5 是面向路径的检索查询，Q6、Q7 和 Q8 是面向路径的聚集查询。性能测试结果见图 6-5。由图 6-5 可知，Chain20 的响应时间比 Chain100 的响应时间长。由于 Chain100 的节点更多，对象转换在 Chain100 中分布更广泛。

对于跟踪查询 Q1，*Path* 比我们的方法关于 $F_1$ 快。然而，在该系统中，查询会返回 ELEN 和 OEN 的值，因此，另一个用途是计算 ELEN 的因式分解与 OEN 的顺序值。由于该系统无法进行大数计算，因此这是一个高计算复杂度问题。但是，该方法能直接返回产品在供应链上经历的位置顺序清单。另外，如果使用 $F_2$，查询测试的性能是可以比较的。这证明了聚集机制的有效性。

**表 6-7　查询测试结果**

| | |
|---|---|
| Q1 | 7515 |
| | 17281 |
| Q2 | //L45 |
| | //L628 |
| Q3 | /L01/L12/L22/L33/L45 |
| | /L03/L16/L29/L321/L422/L628 |
| Q4 | //L12//L34 |
| | //L16//L524 |
| Q5 | /L01/L12//L33/L45 [t_ start = 336501 AND t_ end = 514515] |
| | /L03/L16//L321/L422/L628 [t_ start = 919250 AND t_ end = 1023517] |
| Q6 | COUNT ( ): //L45 |
| | COUNT ( ): //L628 |
| Q7 | COUNT ( ): //L12//L34 |
| | COUNT ( ): //L16//L524 |
| Q8 | COUNT ( ): /L01/L12//L33/L45 [t_ start = 336501 AND t_ end = 514515] |
| | COUNT ( ): /L03/L16//L321/L422/L628 [t_ start = 919250 AND t_ end = 1023517] |

对于面向路径的检索查询 Q1、Q2、Q3、Q4，我们的系统则表现出比 *Path* 更优越的性能。在所有的查询中，*Path* 需要在 TAG_ TABLE 之间执行稳定的连接，包含所有物品的信息，并且 PATH_ TABLE 包含 ELEN 和 OEN 的值。系统访问 OBSERVATION 来提取沿输入路径的所有库存信息，然后访问 ITEM，返回这些库存中符合条件的物品的 EPC。此外，分区技术支持该查询过程。每个 OBSERVATION 分区对应一个特定的位置，因此，使得对感兴趣的物品的直接访问成为可能。在这种情况下，添加的聚集值是非常简单的。关于 $F_1$，这两种方法是类似的，而我们的系统为 $F_2$ 提供了更好的聚合性能。在 Q5 中，时间条件减




Chain20

| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $F_1$ | 598 | 759 | 418 | 444 | 145 | 142 | 141 | 67 |
| $F_2$ | 101 | 351 | 183 | 219 | 123 | 83 | 75 | 42 |
| *Path* | 100 | 832 | 921 | 903 | 743 | 454 | 369 | 223 |

Chain100

| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $F_1$ | 675 | 382 | 105 | 153 | 107 | 81 | 53 | 36 |
| $F_2$ | 153 | 152 | 101 | 90 | 68 | 43 | 40 | 22 |
| *Path* | 200 | 689 | 698 | 612 | 418 | 218 | 311 | 188 |

图 6-5　执行次数

轻了处理结果。尽管 *Path* 引入了新的连接 TIME_ TABLE，该连接包含了转换的定时信息。我们的系统在 WHERE 从句中增加了一个选择条件，因此对于聚集 $F_1$，我们的系统具有更好的性能。面向路径的聚集查询 Q6、Q7 和 Q8 的性能与 Q5 的性能相似。在这种情况下，Chain100 加大了分区技术的开发，使聚集 $F_1$ 和 $F_2$ 更具可比性。

## 6.7　结论

本章介绍了基于 RFID 识别技术供应链数据管理的一种创新方法，包括基于语

义的对象在线发现和对大量 RFID 数据的离线分析。该方法的显著特点是：①对 EPCglobal 标准的明确修改，使得该方法能够利用基于本体的数据，并且在保持向后兼容性的同时，支持非标准的推断服务；②使用先进的压缩技术节省空间，并保持数据聚集的逻辑表示。

创新的数据管理方法为 RFID 数据管理带来诸多益处。产品的相关信息是结构化的、完整的，且在供应链内精确跟踪产品历史、在对象的生命周期内不断建立或更新的产品历史。通过这种方式，提高了生产和销售的可追溯性，先进的可选基础设施的出现，使销售和售后服务变得更加便捷。同时，提出的索引技术保证了数据的有效访问，还提出了实施该方法的工具。

实验结果证实了该框架的可行性和有效性。该方法促进了供应链参与者之间信息共享，降低了采用 RFID 的商业成本。此外，该方法提高了供应链参与者间及零售商和顾客间的透明度和信任度。对于采用 RFID 技术的公司而言，无疑具有非常直接的竞争优势。

## 参考文献


Angeles R (2005) RFID technologies: supply-chain applications and implementation issues. In Journal of Information System Management, **22**(1): 51–65

Ayoub Khan MBR, Manoj S (2009) A Survey of RFID Tags. In International Journal of Recent Trends in Engineering, **1**(4): 68–71

Baader F, Calvanese D, Mc Guinness D, Nardi D, Patel-Schneider P (2002) The description logic handbook. Cambridge University Press, Cambridge

Baader F, Horrocks I, Sattler U (2003) Description logics as ontology languages for the semantic web. Festschrift in honor of Jorg Siekmann, Lect Notes Artif Intell. Springer Heidelberg

Bai Y, Wang F, Liu P (2006) Efficiently filtering RFID data streams. CleanDB Workshop, 50–57, Seoul, Korea

Bai Y, Wang F, Liu P, Zaniolo C, Liu S (2007) RFID data processing with a data stream query language. Proceedings of the 23nd international conference on data engineering, ICDE 1184–1193, Istanbul, Turkey

Ban C, Hong B, Kim D (2005) Time parameterized interval r-tree for tracing tags in rfid systems. Database and Expert Systems Applications, 16th International Conference, DEXA 2005, Copenhagen, Denmark, 22-26, August 2005, Proceedings, vol. 3588 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 503–513, Springer

Bechhofer S, Möller, R, Crowther P (2003) The DIG description logic interface. Proceedings of the 16th International workshop on description logics (DL’03), Rome, Italy, September, vol. 81 of CEUR Workshop Proceedings

Beckmann JL, Halverson A, Krishnamurthy R, Naughton JF (2006) Extending rdbmss to support sparse datasets using an interpreted attribute storage format. Proceedings of the 22nd international conference on data engineering, ICDE 2006, 3–8 April 2006, Atlanta, GA, USA, p. 58, IEEE Computer Society

Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O (2001) The semantic Web. Sci Am **284**: 28–37

Borgida A Description logics in data management. IEEE Trans Knowledge Data Eng **7**: 671–682

Brachman R, Levesque, H (1984) The tractability of Subsumption in Frame-based description languages. 4th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-84), Morgan Kaufmann, Massachusetts, 34–37

Chamberlain J, Blanchard C, Burlingame S, Forestier SC, Griffith G, Mazzara M, Musti S, S.-Y, Son, Stump G, Weiss C (2006) IBM WebSphere RFID Handbook: A Solution Guide. IBM International Technical Support Organization
Colucci S, Di Noia T, Di Sciascio E, Donini F, Mongiello M (2003) Concept abduction and contraction in description logics. 16th International Workshop on Description Logics (DL'03), September, vol. 81 of CEUR Workshop Proceedings, Rome, Italy
De P, Basu K, Das S (2004) An ubiquitous architectural framework and protocol for object tracking using RFID tags. 1st International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems:Networking and Services (MOBIQUITOUS 2004), 174–182, Boston, Massachusetts, USA
De Virgilio R, Sugamiele P, Torlone R (2009) Incremental aggregation of RFID data. Proceedings of the 2009 International Database Engineering & Applications Symposium, 194–205, ACM, Cetraro, Italy
Di Noia T, Di Sciascio E, Donini F, Mongiello M (2003) Abductive matchmaking using description logics. IJCAI '03, 337–342
Di Noia T, Di Sciascio E, Donini F, Mongiello M (2004) A system for principled matchmaking in an electronic marketplace. Int J Electron Commer, **8**: 9–37
Di Noia T, Di Sciascio E, Donini F, Ruta M, Scioscia F, Tinelli E (2008) Semantic-based Bluetooth-RFID interaction for advanced resource discovery in pervasive contexts. Int J Semant Web Inf Syst (IJSWIS), **4**: 50–74
EPCglobal Ratified Specification (October, 4, 2005) Object Naming Service (ONS - ver. 1.0). http://www.epcglobalinc.org
Gärdenfors P (1988) Knowledge in flux: modeling the dynamics of epistemic States. Bradford Books, MIT Press, Cambridge
Gonzalez H, Han J, Li X, Klabjan D (2006a) Warehousing and analyzing massive RFID data sets. Proceedings of the 22nd International Conference on Data Engineering, IEEE Computer Society Washington, DC P83
Gonzalez H, Han J, Li X, Klabjan D (2006) Warehousing and analyzing massive rfid data sets. Proceedings of the 22nd International Conference on Data Engineering, ICDE 2006, 3–8 April 2006, Atlanta, GA p. 83, IEEE Computer Society
Jeffery S, Garofalakis M, Franklin M (2006) Adaptive cleaning for RFID data streams. Proceedings of the 32nd international conference on Very large data bases, 163–174, VLDB Endowment, Seoul, Korea
Jones P, Clarke-Hill C, Shears P, Comfort D, Hillier D (2004) Radio frequency identification in the UK: opportunities and challenges. Int J Retail & Distribution Manag, **32**: 164–171
Karkkainen M (2003) Increasing efficiency in the supply chain for short shelf life goods using RFID tagging. Int J Retail Distribution Management **31**: 529–536
Kawakita Y, Mistugi J (2006) Anti-collision performance of Gen2 air protocol in random error communication link. Proceedings of the International Symposium on Applications and the Internet Workshops - SAINT 2006, 68–71, Phoenix, Arizona, USA
Lee C H, Chung C-W. (2008) Efficient storage scheme and query processing for supply chain management using rfid. Proceedings of the ACM SIGMOD international conference on management of Data, SIGMOD 2008, Vancouver, BC, Canada, 291–302 June 10–12, ACM
Li L, Horrocks I (2004) A software framework for matchmaking based on semantic web technology. Int J Elect Com **8**: 39–60
Maass W, Filler A (2006) Towards an infrastructure for semantically annotated physical products. Informatik, **94**: 544–549
Marcus DAA, Madden S, Hollenbach K (2007) Scalable semantic web data management using vertical partitioning. VLDB '07: Proceedings of the 33rd international conference on very large data bases, 411–422, VLDB Endowment, Vienna, Austria
Paolucci M, Kawamura T, Payne T, Sycara K (2002) Semantic matching of web services capabilities. The Semantic Web - ISWC 2002, pp. 333–347, no. 2342, Sardinia, Italy
Pepe MFC, Risso, M (2008) SME food suppliers versus large retailers: perspectives in the international supply chains. 15th Conference of European Institute of Retailing and Services Studies (EIRASS), 411–422, Zagreb, Croatia

Römer K, Schoch T, Mattern F, Dübendorfer T (2004) Smart identification frameworks for ubiquitous computing applications. Wire Networks, **10**: 689–700

Raza N, Bradshaw V, Hague M, (1999) Applications of RFID technology. IEE Colloquium on RFID Technology, 1–5

Ruta M, Di Noia T, Di Sciascio E, Scioscia, F, Piscitelli G (2007) If objects could talk: A novel resource discovery approach for pervasive environments. Int J Internet Protoc Technol (IJIPT) **2**: 199–217

Ruta M, Di Noia T, Di Sciascio E, Piscitelli G, Scioscia F. (2008) Semantic-based mobile registry for dynamic RFID-based logistics support. 10th International Conference on Electronic Commerce, ICEC 08, ACM Press, Pittsburgh, USA

Ruta M, Di Noia T, Di Sciascio E, Donini F (2006) Semantic-enhanced bluetooth discovery protocol for M-commerce applications. Int J Web Grid Serv **2**: 424–452

Sellitto C, Burgess S, Hawking P (2007) Information quality attributes associated with RFID-derived benefits in the retail supply chain. Int J Retail & Distrib Manag, **35**: 69–87

Smith A (2005) Exploring radio frequency identification technology and its impact on business systems. Inf Manag Compu Secur **13**: 16–28

Tajima M (2007) Strategic value of RFID in supply chain management. J Purch Manag **13**: 261–273

Traub K, et al. (2005) EPCglobal Architecture Framework. Tech. rep., EPCglobal

Wang F, Liu P (2005) Temporal management of RFID data. Proceedings of the 31st international conference on very large data bases, 1128–1139, VLDB Endowment, Trondheim, Norway

Wang F, Liu S, Liu P, Bai Y, (2006) Bridging physical and virtual worlds: complex event processing for RFID data streams. Lect Notes Comput Sci, **3896**: 588, EDBT, Munich, Germany

Weiser M (1999) The computer for the 21st century. SIGMOBILE Mob. Comput Commun Rev **3**: 3–11

# 第 7 章　RFID 数据清洗在车间的应用

Holger Ziekow, Lenka Ivantysynova, Oliver Günter

**摘要**：对一些案例的研究发现，制造业中的车间应用对 RFID 数据清洗提出了挑战。主要的问题是被观测 RFID 标签的确切位置的不确定性。普通中间件设备中的普通滤波器不能应对这些问题。因此，本章开发了一种基于最大似然估计的方法来推理阅读器识读范围内的标签位置。这使得改进的 RFID 数据清洗能够适用于多种应用情景。尤其在典型的制造业应用中，更加突出该方案的优势。通过对物理世界中数据资料的仿真和实验，验证了该方法相比现有解决方案的优势。该方法可扩展 RFID 中间件设备或阅读器固件，以提高 RFID 在车间的应用范围。

## 7.1　引言

近年来，制造商对在车间内使用 RFID 技术表现出强烈的兴趣。我们对制造业领域展开了案例研究，并对制造工厂车间中的多个 RFID 应用进行了鉴定。研究发现，许多车间应用都存在对捕获的 RFID 数据的清洗难题。在 RFID 阅读事件中，无线射频信号的特征导致 RFID 读数事件固有的不确定性（如 RFID 阅读器捕获的数据）。因此，在 RFID 应用中必须对这种不确定性进行处理。

一般而言，阅读器可以捕获信号场内的每一个 RFID 标签。因此，一个阅读事件仅仅表明标签存在于阅读器的识读范围内。然而，信号场并不是严格定义的区域。阅读器只能捕获邻近的标签，并拦截远处的标签。各种因素（如湿度、标签的天线调整范围）都影响标签读取的成功率。阅读事件也可能会因为空中接口层的冲突或屏蔽作用而丢失。另外，RFID 阅读器可能会意外地捕获到附近没有注册的标签，特别是识读范围很广的阅读器，如 UHF 标签。因此，RFID 标签的识读过程是一个概率过程，这为对邻近阅读器的标签具有精确数据要求的应用提出了挑战。

现有的中间件解决方案通常采用低通滤波器来抑制“闪烁现象”并平滑阅读信号。这种方法能够精确地检测电子标签的存在（例如，是否在货架上），或者当标签通过出入口时发出警报通知。但是，当需要精确的标签定位信息时，这种简单滤波器的效力是有限的。简单滤波器能推理出其识读范围内的标签的位置，这可能

会导致错误检测的发生。例如，机器人的堆栈阅读器，必须能够识别出堆栈最上层的项目/物品；另一个例子是确定通过阅读器的传送带上承载的物品顺序。在这里，存在的一个问题是物品被检测的顺序可能与它们被传送的顺序不一致。

综合考虑无线射频信号的基本特性，本章提出了一种概率数据清洗方法。该方法提高了对标签邻近区域的检测精确度，从而改善一些应用情景中 RFID 数据的捕获过程。在需要对识读范围内的移动标签进行定位的情景中，该方法比现有方法都优越。并且可以预测标签检测精度的置信区间。有了这个方法，可以改进 RFID 应用范围内的数据清洗流程，尤其是制造业领域。

本章结构安排如下：7.2 节详细介绍了问题的研究背景以及目标应用情景。7.3 节回顾了一些学者的研究工作。7.4 节提出了清洗 RFID 数据的概率解决方案。7.5 节给出具体的实验结果。7.6 节总结全章。

## 7.2 应用情景和问题的研究背景

由于原始 RFID 读数的噪声特性在将这些数据用于高级应用（例如，跟踪项目或仓库管理）前，需对其进行数据清洗处理。数据清洗的主要作用是抑制闪现和读数去重。然后，人们可以利用上下文知识过滤出误报（如无意进入阅读器识读范围的标签事件）。对制造业的案例研究发现，许多应用情景现在都面临着数据清洗问题的挑战。图 7-1 对这些应用情景进行了概述。通过这些情景举例阐明了发生在不同制造工艺中的基本原则。

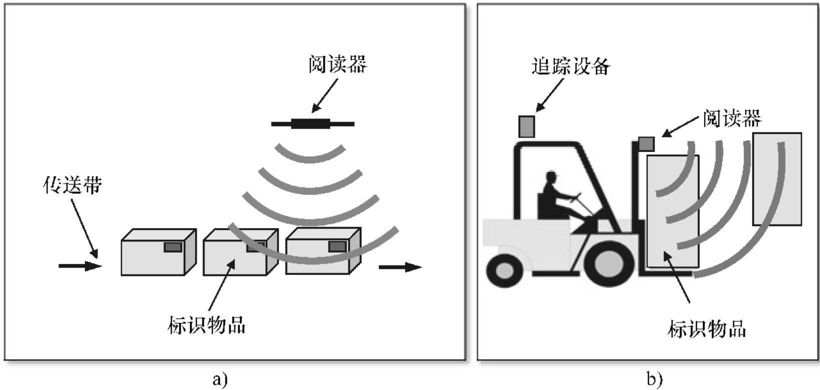



图 7-1 制造工艺中 RFID 数据清洗情景

图 7-1a 所示第一个情景中，阅读器监控传送带上的标识物品。RFID 阅读器则记录经过的物品。例如，传送带用来装载机器或者将物品送入运输单元。该情景存在的数据清洗问题是阅读器读取物品的顺序可能与物品在传送带传送的顺序不一致。也就是说，阅读器在检测到近处物品前先检测到远处的物品，于是导致后续处

理过程中错误的过程文件和物品混淆。

图 7-1b 所示第二个情景中，RFID 技术在资产跟踪情景中用来跟踪物品的移动。叉车则追踪自己的位置，例如通过无线局域网进行位置定位。同时叉车还使用移动式 RFID 阅读器检测附近的物品。该情景面临的数据清洗问题是如何从 RFID 读数中推断出物品被拣起或放下的时间。该情景能够精确跟踪资产位置，并减少搜索次数。采用本章所提的解决方法后可以从堆栈的顶端筛选物品。

上述两个情景存在的共有问题是原始 RFID 读数的噪声特性。由于射频信号的强度与识读距离的二次方成反比，因此识读的可靠度与识读距离呈反比关系。因此，RFID 的识读成功概率是关于距离的函数。信号足够强度时，阅读器的识读可靠度通常接近 100%。从这个角度来说，可靠度与信号的强度有关。因此，得到的识读可靠性在不同识读距离的曲线形状通常是一条平线紧接着一条双曲型落差线（如图 7-2 所示）。由于信号在应用环境中存在反射和重叠，图 7-2 中描绘的曲线可能存在失真。本章所提的数据清洗算法并不依赖于某条特定的曲线形状，而是将可靠度函数 $f_{\mathrm{rel}}$ 作为算法的输入。

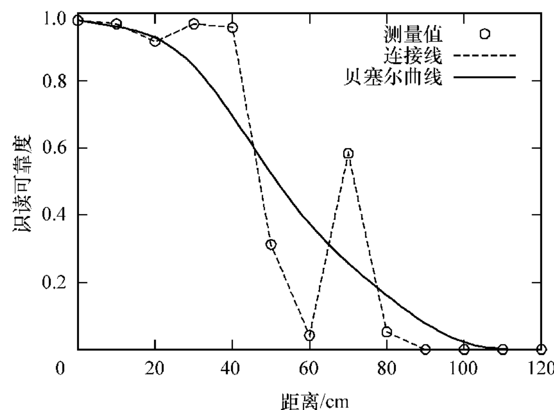



图 7-2　识读可靠度与识读距离的关系

图 7-2 对使用 Nordic ID PL3000（UHF）手持式阅读器的识读可靠度进行了测试。结果表明曲线在 70cm 处出现转折，这可能是由于邻近实验设置中的金属框架导致。所有的测试都使用了同一个标签，结果验证了 RFID 读数的噪声特性。

当标签在相对于阅读器的某特定位置时，可靠度的推理技术可解决第一个情景面临的问题。在第一个情景中，如果已知标签经过某共同参考点的时间，人们便可以正确地对这些物品进行排序（如参考点在阅读器的右下方）。在第二个情景中，如果能够推断出标签正好紧邻阅读器的时间，则可以判断物品被拣起或放下的时间。在 Brusey 等人介绍的应用中，当物品位于阅读器附近时，就可以判断出堆栈

顶部的物品。

因此，所有以上情景中的标签非常邻近阅读器时，均需要对上述的识读事件进行检测，并从 RFID 识读事件的输入数据流中识别这些事件。于是本章提出了一种推理感兴趣事件的方法，并通过实验验证了该方法相比现有方法的优越性。

## 7.3　相关研究工作

RFID 数据中的噪声和错误数据阻碍了 RFID 技术的应用。因此，对于 RFID 中间件而言，数据清洗是必须的操作。现有的 RFID 数据清洗方法主要对误报和漏报数据进行过滤。误报是指阅读器捕获到预期范围之外的物品。漏报是指阅读器未能识读出其识读范围内的标签。空中接口的冲突或屏蔽作用都会引起误报和漏报的发生。为减少这种错误，当前的 RFID 中间件解决方案都使用了滤波器。

常用的抑制错误数据发生的办法是使用低通滤波器，也称平滑滤波器。这种滤波器通过计数一个窗口中的读数序列并将计数值与既定的阈值进行比较，从而实现滤波功能。与本章的解决方法不同，这种滤波器不能访问标识物品邻近阅读器的区域，导致检测时可能无法保留标识物品的顺序。

Jeffery 等人建立时间滑动窗口来平滑 RFID 数据。他们聚集空间颗粒的阅读器，用以纠正丢失的读数并清除异常值。另外，时间滑动窗口支持指定过滤器谓词。Jeffery 等人采用抽样估计自动适应滤波器窗口的大小。Brusey 等人设计了加权低通滤波器，实现堆栈中物品的排序。然而，这些解决方案都针对特定的应用情景，并不能直接适用于我们需要的所有情景。Bai 等人采用平滑滤波器消除噪声和叠加，同时提出了在并行滤波窗口中保存物品的检测顺序的方法。另外还提出一种解决阅读器地址冗余问题的方案。这些方法旨在将重叠信号场情景中的标签与正确的阅读器相互联系起来。例如，Pupunwiwat 和 Stantic 使用集合理论使货架上的标签与正确的阅读器相联系。然而，这种方法适用于相对静态的环境，不适合产品生产过程的监控运行情景。

据我们所知，还没有哪种清洗方法可以在阅读器信号场范围内推断出标签的位置。也就是说，只能检测出该范围内有标签存在，但不能确定标签的位置。然而，在资产跟踪领域采用的一些方法，可以在阅读器识读范围内推断出标签的位置。Bekkali 等人使用多个阅读器及标签信号强度来确定标签的位置。然而并非所有的 RFID 阅读器接口都能够测量接收信号的强度（也就是说，这不是标准协议的内容），部署多个阅读器的成本是很高的，但至少能够适用于我们的第二个情景。还有一些解决方案使用移动式 RFID 设备，如部署在机器人中的设备，用来扫描某区域内的标签。这种方法从多个读数和阅读器的位置数据中获取物品的精确位置。然

而这种方法适用于相对静态的环境（如仓库），不适于实时监控进程。

相比当前的一些解决方案，本章所提方法可以在被检测物品经过阅读器时，推断该物品距离阅读器的距离。这有助于改进那些对物品位置信息（例如，被检测物品通过阅读器的顺序）有高度精确要求的应用。与当前的解决方案不同，本方法能够估计滤波器精确度的置信度。

## 7.4　数据清洗方法

本节主要介绍提出的 RFID 数据清洗方法。首先阐述该方法的基本思想；然后，介绍该方法在简单情景和复杂情景中的应用；最后，给出每个检测精度的近似置信区间的计算方法。

### 7.4.1　基本思想

数据清洗方法使用最大似然估计来为特定的 RFID 标签检测兴趣事件（例如，标签什么时候准确到达阅读器?）。基本思想如下：先将读数流分为多个子流，每个子流 $R$ 中的事件对应同一个 RFID 标签。把每个来自于原始读数流 $R$ 的读数事件 $e$ 作为候选的兴趣事件。

假设在事件模型中，每个事件 $e$ 由三元组（$r$，$l$，$t$）定义。其中，$r \in (0, 1)$，表示读数成功率，1 代表读数成功。$l$ 值记录了阅读器的相对物理运动。在传送带情景中，$l$ 值就是目前已传送的物品数量。后面还将用 $l$ 表示事件 $e$ 的位置。$t$ 是时间戳标记。然后，由数据清洗算法计算事件流 $R$ 发生的概率，假设前提是事件 $e$ 就是感兴趣的事件。算法将返回包含于 $R$ 的 $e$ 事件，其中计算的概率是最大化的。最大似然估计的计算公式如下：

$$e_{\text{interest}} = \arg\max_{e} L(e) = \arg\max_{e} f(\{e_1, e_2, \cdots, e_n\} \mid e) \tag{7-1}$$

其中，在 $e$ 为被关注事件的假设下，$f$ 返回观测读数流 $R = (e_1, e_2, \cdots, e_n)$ 的概率。$f$ 的计算过程与特定的数据过程有关，并将在后面两节中给出实例。无论任何情况下的计算都遵循相同的原则。

假设 $R$ 中的所有事件都是统计独立的[㊀]，则有：

$$f(R \mid e) = \prod_{e_i \in R} f(\{e_i\} \mid e) \tag{7-2}$$

对于 RFID 读数，计算 $f(e_i \mid e)$ 需要对 RFID 读数使用可靠度函数 $f_{\text{rel}}$，其中 RFID 读数与标签 – 阅读器的相对位置有关。该函数的性能与使用的 RFID 硬件有关，并且在配置数据清洗算法之前对标签 – 阅读器之间的距离进行测量。每安装一

㊀　在许多情况下，该假设可能不成立。但是，我们的实验表明，统计独立对实验的影响很小，且得到的误差可忽略不计。

次，$f_{rel}$函数就变化一次。因此，每次安装$f_{rel}$前，都必须进行算法配置。7.5 节则通过实验表明，即使对函数进行粗略近似，仍能取得良好的效果。因此，如果测量方法不可行，那么该函数是一种可选方案。

每个安装都将导致不同的可靠度函数，包括不对称信号的传播。为简单起见，本章进行了对称信号传播假设，那么函数$f_{rel}$只与标签和阅读器之间的距离有关。然而，在数据流中事件的实际标签－阅读器距离是未知的，必须通过最大似然估计进行推断。原始流中只包含相关阅读器的抽象坐标。把每个事件 $e$ 作为似然函数中的一个参数 $L$，便可以计算出数据流中事件的标签－阅读器距离。也就是说，假设 $e$ 是感兴趣的事件，那么相应地，在 $R$ 中的其他事件也遵循绝对的位置形式。假设 $e=e_{interest}$，用符号 $D$（$e'$，$e$）表示事件 $e' \in R$ 的位置计算。

假设事件 $e_1=(1,10,5)$ 和 $e_2=(1,-20,6)$。其中 $e_2$ 是在阅读器的位置处直接被捕获的事件，也就是感兴趣的位置。那么对事件 $e_1$ 的标签－阅读器距离应该是 30 个长度单位。

输入流 $R$ 既包括成功的读数事件，也包括失败的读数事件。因此，对于成功的读数事件有$f(e_i|e)=f_{rel}(e_i)$，失败的读数事件的概率为$1-f_{rel}(e_i)$。对于最大似然函数有：

$$L(e)=f(R|e)$$
$$=\left(\prod_{(r_i,l_i,t_i)\in R:r_i=1} f_{rel}(D((r_i,l_i,t_i),e))\right)\left(\prod_{(r_i,l_i,t_i)\in R:r_i=0} 1-f_{rel}(D((r_i,l_i,t_i),e))\right) \tag{7-3}$$

本章将在 7.4.2 节和 7.4.3 节通过几个简单情景介绍这种通用方法的实现过程。为求解式（7-3），假设序列 $R$ 是无限长的序列。于是，在数据流 $R$ 上定义了一个窗口来创建一个有限的序列 $R'$。选择的窗口使 $R'$包含感兴趣的事件。另外，该窗口必须足够大，能够精确地计算式（7-1）。

在测试中，选择的窗口具有以下特性：

1）用第一个成功的读数事件作为窗口的下界。

2）使用标签与阅读器之间的相对移动决定窗口的上界。从窗口下界开始，当标签与阅读器的相对移动距离大于两倍的最大阅读器距离时，说明标签超出了窗口范围。该范围内的最后一个成功读数事件被标记为窗口的上界。

尽管有多种对读数流进行开窗的方法。但是，上述方法在实验中也取得了良好的效果。时间窗口法旨在找出使式（7-2）最大化的事件 $e$。对 $R'$的方程式的求解比较简单。在有限长的窗口 $R'$中，能够对 $R'$内的每个事件进行计算（式（7-2）），并且选择其中的最大值。

### 7.4.2　简单情景的实现

本节将在一个简单而又相关的情景中给出上述方法的实现过程。在该情景中，

RFID 标识的物品在传送带上移动（见 7.2 节中的第一个情景）。在传送带上方部署的 RFID 阅读器对具有周期性的识读请求的物品移动进行监控（见图 7-1a）。数据清洗的任务则是推断传送带上物品的顺序。我们将其降低为物品正好从阅读器下方经过时，RFID 识读事件的检测问题。

为了确定来自流 $R$ 的窗口 $R'$，本节将标识物品的第一个观测值作为窗口的下界。传送带从下界点开始移动，当移动距离正好等于两倍的最大识读距离时，此时对应的位置即为窗口的上界。在上下界构成的窗口中，由于传送带的速度和识读频率是恒定的，可能导致事件序号的乱序。

函数 $f_{\text{rel}}$ 的性能与阅读器设备的安装位置有关。在本节示例情景中，假设阅读器信号沿传送带方向均匀辐射（辐射的信号可能来自选定位置处的阅读器）。因此，可以将 $f_{\text{rel}}$ 建模为一个只与标签和阅读器之间的距离有关的函数（应用程序中设置的测量值决定该函数的形状）。

对于该情景，还需要确定函数 $D(e_i, e)$ 来定义式（7-3）。函数 $D$（（$r_i$，$l_i$，$t_i$），（$r$，$l$，$t$））等于 $|l_i - l|$，因为传送带上的物品只向一个方向移动，且感兴趣的事件 $e_{\text{interest}}$ 就是物品经过阅读器的正下方时的读数事件。于是，得到似然函数式（7-4）：

$$L((r,l,t)) = f(R' \mid (r,l,t)) = \left(\prod_{(r_i,l_i,t_i)\in R':r_i=1} f_{\text{rel}}(|l_i - l|)\right)\left(\prod_{(r_i,l_i,t_i)\in R':r_i=0} 1 - f_{\text{rel}}(|l_i - l|)\right) \quad (7\text{-}4)$$

### 7.4.3　复杂情景的实现

在复杂的情景中，移动的 RFID 阅读器用于资产跟踪（见 7.2 节中的第二个情景）。因此，移动式阅读器被安装在运输设备上（见图 7-1b）。数据清洗的任务是检测物品被拣起或放下的准确位置。本节只对物品被拣起的位置检测进行讨论，物品被放下的检测过程与之类似。

为了确定来自流 $R$ 的窗口 $R'$，使用相应物品的第一个观测数据作为窗口的下界。但在本案例中，窗口上界不再是固定的值。窗口长度将不断被延长直至物品被拣起。这是叉车移动了两倍最大识读距离后的第一次成功读数[㊀]。由于物品在这期间被拣起，则可判定感兴趣事件就在该窗口中。

对于 $f_{\text{rel}}$，假设阅读器信号呈放射状传播。因此，可以将 $f_{\text{rel}}$ 建模为只与标签与阅读器之间的距离相关的函数（对于其他信号的形状需要多维 $f_{\text{rel}}$ 形式）。

对于给定的情景，仍需要确定函数 $D$（$e_i$，$e$）。这也是与先前的案例的主要区

㊀ 超时之后，从第一次成功读数处开始到叉车移动了两倍的最大识读距离处，该距离范围内没有成功识读的数据流将被丢弃。由于有些物品在叉车经过时并没有被拣起，便导致了失败的识读。

别。假设物品在某一位置点被拣起，且物品正好被置于阅读器的后方。因此，必须区分出事件 $e_i$ 中哪些事件是 $e$ 之前捕获的，哪些事件是 $e$ 之后捕获。得到的似然函数式（7-5）：

$$L(r,l,t)=f(e_1,\cdots,e_n|(r,l,t))=f_1f_2f_3f_4 \tag{7-5}$$

其中 $f_1$、$f_2$、$f_3$ 和 $f_4$ 的表达式如下：

$$f_1=(\prod_{(r_i,l_i,t_i\in R':r=1\wedge t_i<t)} f_{\mathrm{rel}}(|l_i-l|))$$

$$f_2=(\prod_{(r_i,l_i,t_i\in R':r=0\wedge t_i<t)} 1-f_{\mathrm{rel}}(|l_i-l|))$$

$$f_3=(\prod_{(r_i,l_i,t_i\in R':r=1\wedge t_i\geqslant t)} f_{\mathrm{rel}}(0))$$

$$f_4=(\prod_{(r_i,l_i,t_i\in R':r=0\wedge t_i\geqslant t)} 1-f_{\mathrm{rel}}(0))$$

## 7.4.4 置信区间的计算方法

本节将介绍如何计算每个感兴趣事件 $e_{\mathrm{interest}}$ 的置信区间。具体而言，本节提出了一种算法，该算法能够返回一个空间错误 *dist*，其中 *dist* 中给出了置信值 *confVal*。正确的 $e_{\mathrm{interest}}$ 事件长度不会超过 *dist* 的长度单位，这个值与概率值为 *confVal* 的检测事件 $e_{\mathrm{interest}}$ 相差甚远。

为求解式（7-3），每个事件 $e_i$（$e_i\in R'$）都被赋予了一个概率值。如果事件 $e_i$ 就是 $e_{\mathrm{interest}}$ 事件，那么这个值即为被观测序列 $R'$ 的概率。基本思想是使用这些值推导出对每个 $e_{\mathrm{interest}}$ 事件的置信区间。已知 $e_{\mathrm{interest}}$ 事件包含于 $R'$，则对所有事件 $e_i$（$e_i\in R'$）的概率值进行归一化处理，使得归一化后的概率总和等于 1。从而为每个给定观测序列 $R'$ 中的事件 $e_{\mathrm{interest}}$ 产生一个近似的密度函数（由于式（7-2）的计算结果会存在一定的样本误差，故该方法只能得到近似的结果）。然后，沿检测到的事件的位置空间区间对该密度函数求积分。也就是说，由该区间求得的总归一化概率值，可以得到正确的 $e_{\mathrm{interest}}$ 事件在该区间的置信度。实现步骤如下：

首先，用 $R'$ 构建具有相应归一化概率值的事件集合 $H$：

$$H=\left\{(r,l,t,p)|(r,l,t)\in R'\wedge p=\frac{f((r,l,t)|R)'}{\sum\limits_{(r,l,t)\in R'} f((r,l,t)|R)'}\right\} \tag{7-6}$$

然后，通过对检测得到的事件 $(r,l,t,p)$ 运用式（7-6）对 $H$ 进行评估，使用算法 1 可获得置信估计。

算法 1　*confCalc*（*confVal*，$H$，（$t$，$r$，$l$，$p$））

1. $\mathrm{H_{SORTED}}$ = sortByDistanceToEvent（H，（t，r，l，p））
2. probabilitySum = 0
3. distance = 0
4. **for** i = 0 to | $\mathrm{H_{SORTED}}$ | **do**
5. **if** probabilitySum ≥ confVal **then**

```
break
end if
(ti, ri, li, pi) = H_SORTED [i]
probabilitySum = probabilitySum + pi
distance = | li − l |
end for
return distance
```

置信估计可被下游的应用用来对来自滤波器的信息进行推理。例如，概率数据管理模型可以使用置信度存储推理出的位置数据。此外，如果检测发现某事件的置信度过低，在这种危急情况下，应用程序会要求工人人工验证事件的置信度。

## 7.5　实验

本节给出了数据清洗方法的评估实验结果，并与现有的滤波器和特定的情景的解决方案进行了对比。同时，还进一步考察了识读频率对数据清洗的精确性的影响，并对置信度值进行了预测。

我们使用评估的方法对 7.2 节中描述的情景进行模拟仿真，在不同的参数设置环境下进行了大量的测试。此外，在实际 RFID 硬件上进行实验，特别强调本章提出数据清洗方法对真实数据的适用性。

在实验中，我们利用实物和阅读器重现了分析的过程。使用一个与距离相关的可靠度函数来模拟一个成功识读事件的概率，随机生成一个识读事件。图 7-3 所示为仿真中使用的函数以及近似的可靠度函数。在测试算法的过程中，我们特意使用粗糙的可靠度函数来近似本章的计算，说明可靠度函数并非总是明确可知的。在最坏的情况下，可对其进行粗略的近似。

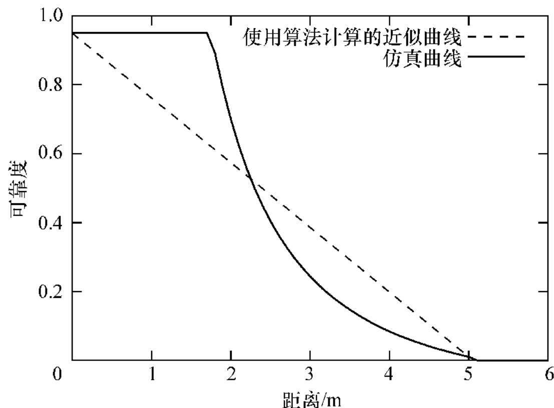



图 7-3　仿真中的可靠度函数和近似函数曲线

### 7.5.1　对简单情景的评估

在第一个情景中，RFID 被用来监控传送带上物品的顺序。为了评估这个情景，本节将传送带的运动速度设置为步行速度（0.83m/s），阅读器直接安装在传送带上方。对识读可靠度的仿真，则采用图 7-3 中描绘的可靠度函数。其中，距离与物品在传送带上的位置有关，例如，0 代表最接近阅读器的位置。同时，假设阅读器信号均匀辐射。

当物品正好位于阅读器下方时，执行数据清洗算法。根据算法运行结果，便可以推测传送带上物品的顺序。实验分析如下：

1）利用低通滤波器和不同的数据清洗方法对比检测结果存在的空间误差。

2）对比顺序发生错误，即有多少件物品被交换了序号。

3）最后，对空间误差进行置信度预测精确度测试。

表 7-1 和表 7-2 所给数据是经过 1000 次运行测试并按每秒 2 次的识读频率仿真得到的（注意，利用中间误差移动每个检测得到的事件来调整测试）。

**表 7-1　不同数据清洗方法的空间误差的方差**

| 优化方法 1 14cm | 优化方法 2 20cm | 中间窗口 64cm |
|---|---|---|
| 中间读数：42cm | 低通滤波器 2：35cm | 低通滤波器 3：28cm |
| 低通滤波器 4：33cm | 低通滤波器 5：40cm | 低通滤波器 6：45cm |

**表 7-2　不同数据清洗方法的平均空间误差**

| 优化方法 1 29cm | 优化方法 2 35cm | 中间窗口 66cm |
|---|---|---|
| 中间读数：53cm | 低通滤波器 2：44cm | 低通滤波器 3：39cm |
| 低通滤波器 4：42cm | 低通滤波器 5：46cm | 低通滤波器 6：48cm |

在以上两个表中，优化方法 1 在算法中使用了精确的可靠度函数。优化方法 2 则使用了粗略的线性逼近。中间窗口（Window Middle）和中间读数（Read Middle）都是无关紧要的清理工具，可作为基准。Window Middle 返回检测窗口 $R'$中间的事件。Read Middle 返回被观测物品的第一个检测事件和最后一个检测事件之间的中间事件。低通滤波器（编号为 2 ~6）通常用于清洗 RFID 数据。这些滤波器将对数据流运用基于数组的滑动窗口，并当整个窗口内全部都是成功识读尝试时返回一个事件。数字 2 ~6 表示数组中窗口的大小。

表 7-1 和表 7-2 中的数字验证了本章所提清理方法相对现有方法的优越性。然而，在给定的目标情景中，由于错误检测导致的错乱物品的数量非常重要。图 7-4 所示为不同物品间距设置下的被交换的物品数量示意图。

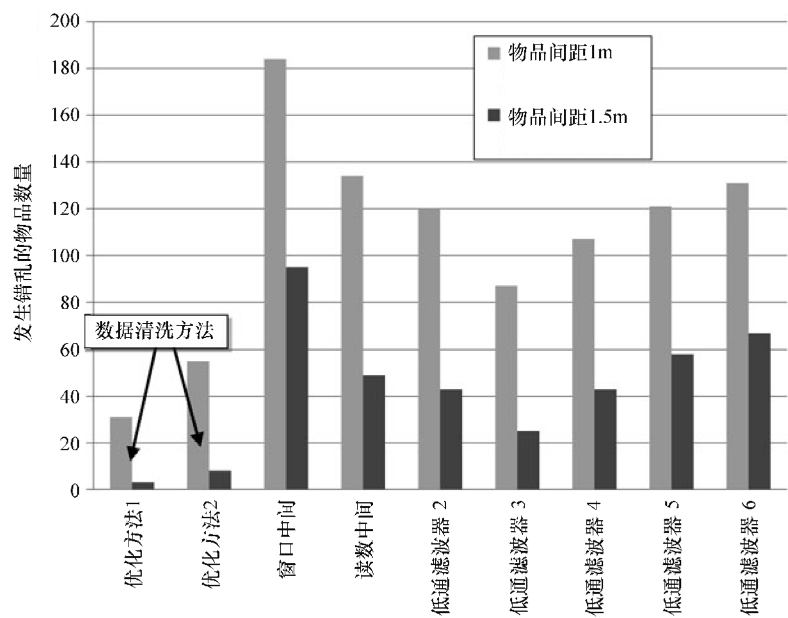



图 7-4　传送带模拟情景中识读频率对被交换物品的影响

结果表明，本章所提数据清洗方法明显优于其他的方法。此外，数据清洗方法能够很好地处理可靠度函数中的误差。也就是说，即使使用粗略线性逼近方法，仍能获得很好的实验结果。对精确函数的仿真表明，物品间距为 1.5m 时，只有 3‰的物品发生错乱；物品间距为 1m 时，则有 31‰的物品发生错乱。对线性逼近函数的仿真表明，物品间隔为 1.5m 时，8‰的物品发生错乱；物品间隔为 1m 时，55‰的物品发生错乱。在这两种物品间距设置下，窗口大小等于 3 的低通滤波器表现出较好的性能。当物品间距为 1.5m 时，25‰物品发生错乱；物品间距为 1m 时，87‰物品发生错乱。

接下来对置信区间的预测精确度进行分析。在实验中，设每次运行得到的置信区间的置信度为 95%。然后对超出该区间的检测进行计数。表 7-3 给出了 1000 个不同读取频率的运行测试结果。这些数字表明，预测的置信度夸大了 1Hz 低识读频率情况下的置信度。尽管如此，预测值还是非常接近正确的结果。调研发现，目前尚不存在为检测预测置信值的方法。因此，不可能找到一种与该实验进行对比的方法。

**表 7-3　不同识读频率的平均空间误差**

| 识读频率 | 位于置信区间以外的事件比例 |
|---|---|
| 1Hz | 12.7% |
| 2Hz | 6.9% |

（续）

| 识读频率 | 位于置信区间以外的事件比例 |
|---|---|
| 4Hz | 6.7% |
| 6Hz | 7.16% |
| 8Hz | 7% |

最后，本章分析了识读频率对数据清洗方法精确度的影响，见图 7-5。其中，优化方法 1 是指执行 $f_{rel}$ 时使用的精确的可靠度函数。优化方法 2 是可靠度函数的线性逼近。滤波器则选用了窗口大小为 3 的低通滤波器 3，因为该滤波器的执行性能较其他低通滤波器都要好。同样，为得到每个数据点，我们进行了 1000 次模拟仿真。由图 7-5 可知，发生错乱物品的数量随识读频率的增加而降低。从 1Hz 的低频率开始，识读错误率大幅下降，然后逐渐收敛于一个很小的值。图中三种方法的曲线形状类似，但本章提出的优化方法 1 表现出相对的优越性。在 8Hz 的高频率点处，优化方法 1 没有导致物品交换；优化方法 2 导致 3 件物品发生交换；低通滤波器 3 则导致 21 件物品交换。实验表明，本章所提方法相对其他方法，除在所有识读频率点处表现相对的优越性外，还能够很好地处理 $f_{rel}$ 中的错误。识读频率为 1Hz 和 8Hz 时，优化方法 2 与优化方法 1 的精确性非常相似。因此，优化方法 1 具有最低的错误率并优于现有的方法。

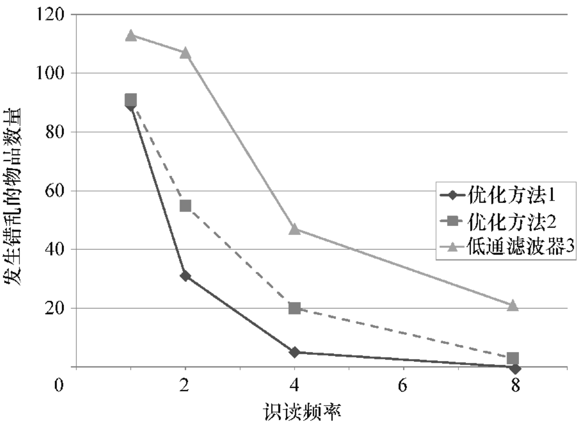


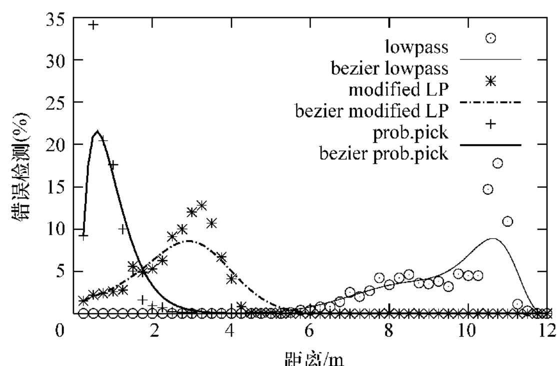

图 7-5　传送带情景中识读频率对被交换物品的影响

## 7.5.2　对复杂情景的评估

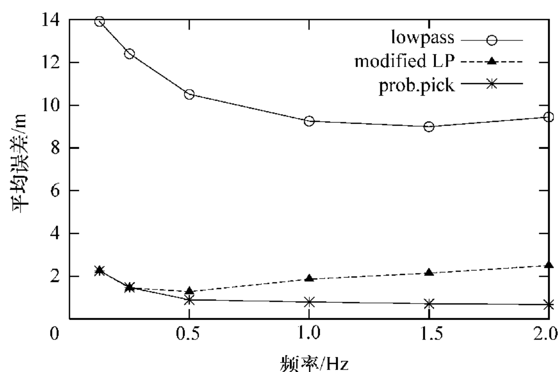
在复杂情景中，运输工具向物品方向移动，然后拣起物品并继续朝随机的方向前进。设移动速度等于步行速度（0.83m/s）。下面的实验将对本章提出的方法在 RFID 数据流中分拣事件的检测性能进行测试，测试该方法对复杂运动情景的监控

性能。

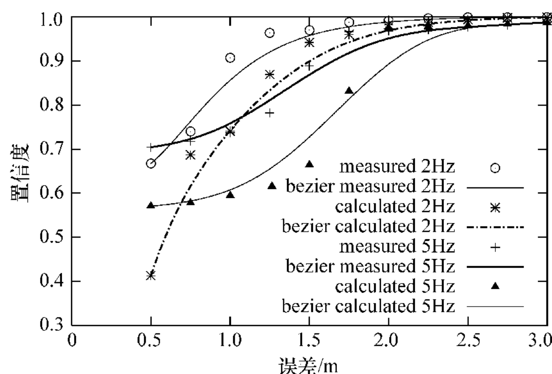
图 7-3 所示曲线为仿真中使用的可靠度函数和本章所提算法中使用的近似的可靠度函数。在不同的样本率（识读频率）下，对拣起事件进行了 1000 次模拟仿真，实验结果见图 7-6。在测试中，本章所提方法被用来处理测试得到的事件（标




a) 拣起事件的检测精确度




b) 样本频率的平均误差




c) 测量和计算的置信度

图 7-6　实验结果

记为 prob. pick)，并将本章所提方法与其他方法进行比较。但是，常用的低通滤波器不适于复杂情景的评估。例如，如果运输工具在低通滤波器附近驻留了一段时间，基于数组的低通滤波器可对物品的分拣事件进行检测。因此，在本章提出的算法中采用了带有窗口位置的低通滤波器（lowpass）和改进的低通滤波器（modified LP)。该滤波器 lowpass 利用空间上定义的窗口为上界，该窗口即为概率方法中使用的窗口（见式（7-5))。

图 7-6a 所示为在一定范围内的错误检测的百分比。图中，每个百分点的范围为 0.25m，并定义该范围的上界。识读样本频率为 2Hz。不难发现，prob. pick 的检测精度优于其他的对比方案，其平均检测误差约 0.7m。图 7-6b 刻画了识读样本频率对不同方案精度的影响。图 7-6c 所示为 5Hz 和 2Hz 样本频率条件下，给定误差范围下的预测和测量的置信度。实验发现，预测曲线与测量曲线在一定程度上是相匹配的。总的来说，实验强调了所提算法对复杂情景的适用性。据我们所知，当前还不存在直接适用于复杂情景的其他方法。

### 7.5.3 真实数据测试

下面的实验中使用了真实的 RFID 硬件设备进行实验测试。测试情景是略微修改过的传送带情景（7.2 节中的第二个情景）。实验中，人为将物品直接移至阅读器附近。在这个过程中，部署在包装盒附近的 RFID 阅读器监控传送带打包物品装入包装盒的顺序。此时的清洗任务就是确定物品被装入包装盒的顺序。

该实验使用了 Nordic ID PL3000 手持式阅读器。图 7-2 所示为测试阅读器所用的可靠度函数。因为我们拥有一个小的数据样本集，且不想使用相同的数据来确定 $f_{rel}$ 和执行方案测试，因此测试中，没有使用可靠度函数 $f_{rel}$，而是采用粗略的线性逼近函数。被监控物品与阅读器间的距离为 0m 和 1.1m 时，该函数的识读可靠度分布为 95% 和 0%。在实验中，我们发出识读请求，以致每隔 5cm 就有一次识读尝试事件。为统计被交换的物品，设置的标签间距为 10cm。

图 7-7 给出了对本章方案、低通滤波器和其他方案（与简单传送带场景的模拟仿真采用的算法相同）运行 200 次后得到的错误数（物品被交换的数量)。在算法中使用了可靠度函数的粗略线性逼近得到图示实验结果，尽管被监控物品与阅读器间距为 70cm 时会出现不规则变化（见图 7-2)。对于物理世界的应用，必须用测量值来确定 $f_{rel}$，并且有可能获得更好的结果。总体而言，即使使用真实的数据来测试，本章方法也优于其他的方案。

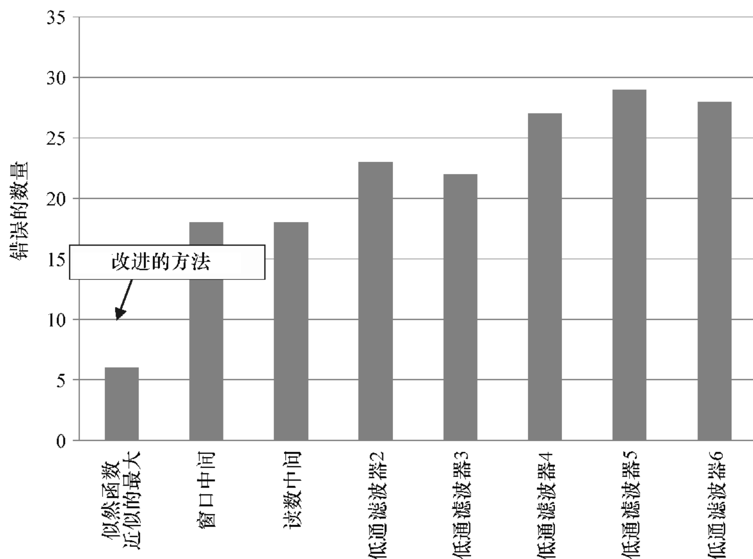



图 7-7　使用真实的 RFID 硬件测试物品的交换

## 7.6　结论

我们对案例研究发现，一些特殊情景都面临 RFID 数据清洗的挑战。许多情景对标签和阅读器之间相对位置具有相当高的精度要求。然而，噪声和不确定因素影响 RFID 的识读，为物品的精确定位带来困难。为此，本章提出了概率清洗方法，并对当前的中间件解决方案或阅读器固件进行了扩展。本章提出的解决方案能够在识读范围内对标签位置进行精确推理。这使得诸多情景中的 RFID 识读更加准确，如确定传送带上物品的顺序。

仿真实验和实际数据表明，本章所提出的解决方案使当前的工艺水平提高几个数量级。此外，还可以提供测试结果的置信值。下游的应用可能通过这些置信度值推测输入信息数据。例如，对 RFID 数据使用概率数据模型。

本章所提方法在监控传送带上物品顺序方面表现出良好的性能。对比现有的方案，制造商可以增加传送带上物品的吞吐量，而不用担心会提高数据错误的风险。这使得 RFID 的部署更加方便，改进设备的性能。为进一步深入研究，可使用一些传感器数据（如光栅）进行扩展，并将其融入算法中。如何实现该扩展并在 RFID 中间件解决方案中得以实施，将成为未来研究的主要内容。

# 参考文献

Bai Y, Wang F, Liu P (2006) Efficiently filtering RFID data streams. In: proceedings of report on the first international VLDB workshop on clean databases (CleanDB 2006), Seoul, Korea, 11 September, pp 50–57

Bekkali A, Sanson H, Matsumoto M (2007) RFID indoor positioning based on probabilistic RFID map and Kalman Filtering. In: proceedings of the third IEEE international conference on wireless and mobile computing, networking and communications, Washington, DC, p 21

Bornhövd C, Lin T, Haller S, Schaper J (2004) Integrating automatic data acquisition with business processes – experiences with SAP's Auto-ID infrastructure. In: proceedings of the thirtieth international conference on very large data bases, Toronto, Canada, August 31 – September 3, pp 1182–1188

Brusey J, Harrison M, Floerkemeier C, Fletcher M (2003) Reasoning about uncertainty in location identification with RFID. In: proceedings of the workshop on reasoning with uncertainty in robotics at IJCAI-2003, Acapulco, Mexico.

Finkenzeller K (2003) RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification. Wiley, New York

Floerkemeier C, Lampe M (2004) Issues with RFID usage in ubiquitous computing applications. In: proceedings of pervasive computing, Springer, Linz,Vienna, pp 188–193

Garofalakis MN, Brown KP, Franklin MJ, Hellerstein JM, Wang DZ, Michelakis E, Tancau L, Wu E, Jeffery SR, Aipperspach R (2006) Probabilistic data management for pervasive computing: the ata furnace project. IEEE Data Eng Bull 29(1):57–63

Hähnel D, Burgard W, Fox D, Fishkin K (2004) Mapping and localization with RFID technology. In: proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation, New Orleans, USA, 26 April – 1 May

Ivantysynova L, Ziekow H, Günther O, Kletti W, Kubach U (2008) Case studies. In: Günther O, Kletti W, Kubach U (eds) RFID in manufacturing. Springer, Heidelberg, pp 61–111

Jeffery S, Garofalakis M, Franklin M (2006a) Adaptive cleaning for RFID data streams. In: proceedings of the 32nd international conference on Very Large Data Bases, Seoul, Korea, 12–15 September, pp 163–174

Jeffery S, Alonso G, Franklin M, Hong W, Widom J (2006b) A pipelined framework for online cleaning of sensor data streams. In: proceedings of the 22nd international conference on data engineering, Washington, DC, p 140

Pupunwiwat P, Stantic B (2007) Location filtering and duplication elimination for RFID data streams. Int J Prin Appl Inf Sci Tech 1(1): 29–43

Song J, Haas CT, Caldas CH (2007) A proximity-based method for locating RFID tagged objects. Adv Eng Inform 21:367–376

Wang F, Liu P (2005) Temporal management of RFID data. In: proceedings of the 31st international conference on Very Large Data Bases, Trondheim, Norway, 30 August-2 September, pp 1128–1139

# 第 3 部分　全球信息架构和系统

# 第 8 章　自主控制与物联网：增强物流网络的鲁棒性、可扩展性和灵活性

Dieter Uckelmann, M. -A. Isenberg, M. Teucke, H. Halfar, B. Scholz-Reiter

**摘要**：自主控制与物联网（Internet of Things，IoT）是增强供应网络物流处理能力的关键。常见的问题为这两者之间是如何相互关联的。本章的主要目的是评估物联网和物流自主控制模式是否兼容。目前已存有许多物联网相关的结构化算法。由于 EPCglobal 网络提供了基于开放界面的标准化方法，故本章选用了 EPCglobal 网络。作者围绕自主控制技术和 EPCglobal 网络展开了研究工作，并将两者在一种集成方法中加以融合。在这种情形下，EPCglobal 网络被视为自主物流对象的信息中介。以智能运输车为例，本章对该综合方法的一种可能应用进行介绍，通过自主控制说明扩展的 EPCglobal 的潜力。

## 8.1　引言

物联网的构想正在逐步实现。越来越多的物联网应用得以实现，这些应用中的便携式电子设备能够相互通信（例如，家庭环境），或嵌入式传感器报告设备的测量值。利用通信技术，如无线局域网（Wireless Local Area Network，WLAN）和通用移动通信系统（Universal Mobile Telecommunications System，UMTS），便可实现这些新兴的应用。物联网改善了人们的生活质量，同时促使了社会网络的进一步扩展。但目前还没有给出一个明确的概念，描述不断增加的通信组件对未来网络的影响。庞大的通信组件数量将对现有的互联网结构的扩展性和稳定性带来新的挑战。

智能对象的集成可减少物联网内部的通信协调工作，汇集智能对象便是一种可能的调整机制。这些对象的智能化功能主要包括分散协调、统筹和自主决策。例如，利用传感器（温度、压力、加速度等传感器）监测环境对物体的影响。因此，智能对象被赋予高度的自主权。自主模式将取代信息处理和控制的集中化模式。由于自主模式的传输过程包括不同的地理位置、受限的在线访问及不断变化的环境参数（包括温度参数），因此该模式特别适用于物流领域。自主控制方法将对象的集中处理方式转换为对象的自主控制方式。即使没有在线连接，自主控制的对象仍然具有与邻近

对象的通信能力。因此，可以在物联网中聚集自主逻辑对象来构建自主网络。这些小组可由邻近的自主对象（处于网络最底层）或者集合模块（处于网络上层）来组成。

本章的主要目标：一是评估物联网和物流的自主控制模式能否通过某种合理的方式实现彼此相辅相成；二是给出整合这两个概念所需的必要改进策略。本章结构安排如下：8.2 节主要对物联网、自主概念、必要的技术组件以及可扩展的整合平台 EPCglobal 网络的发展现状进行概述。8.3 节对相关概念、技术和当前 EPCglobal 网络进行了整合，以开发物联网自主对象的新设计。8.4 节探讨了智能运输车的应用。最后，给出了结果分析并展望未来进一步的研究工作。

## 8.2　最新技术分析和技术背景

### 8.2.1　物联网

物联网这一术语通常被研究人员和实践人员用于描述现实世界的客观对象与虚拟世界的信息技术的结合。信息处理技术不断微型化，以及其与新技术（如 RFID、实时定位系统、传感器技术和驱动器）的结合，被认为是物联网的核心技术。

当前已有多种面向物联网的方法。有人认为一个纯粹的互联网方式，如 IPv6，要求每个对象都要有一个 IP 地址和相应的支持协议。其他方法将整体结构的开发作为项目研究内容，如 PROMISE[一]、BRIDGE[二]或 EURIDICE[三]。此外，还有一些项目和致力于嵌入式无线传感器网络和驱动器的研究，如 COBIS[四]、SENSEI[五]和开放地理空间联盟（OGC）提出的传感器 Web 整合框架（SWE）。

EPCglobal 网络是当下被广为接受的一种面向物联网的方法。EPCglobal 网络通过附着在物理实体上的简单标识符链接到类似因特网结构中的相关信息，包括发现服务和信息服务。物理对象本身并不携带业务数据，也不具备数据处理能力，因此它们不是智能的。EPCglobal 网络的智能化实现体现在业务数据库和处理能力的结合，因此需要无所不在的在线访问能力。

EPCglobal 网络还不包含数据流上的传感值，但是韩国 Auto－ID 实验室对 EPC 传感器网络研究将无线传感器网络（WSN）和传感器数据纳入 EPCglobal 网络结构和标准。

---

㊀ 见 www. promise. no。

㊁ 见 www. bridge－project. eu。

㊂ 见 www. euridice－project. eu。

㊃ 见 www. cobis－online. de。

㊄ 见 www. sensei－project. eu。

EPCglobal 网络成功的原因之一在于它定义了应用程序或产品之间的接口，而不是定义应用程序或产品本身，因此保证了应用程序与物联网相结合，只要这些应用符合接口规范。对于 EPCglobal 网络的商业和免费相关软件组件，可由大型软件公司及集成商提供相应的服务实现。因此，EPCglobal 网络作为基本的基础设施，提供了一定的可靠性、稳定性、用户满意度以及灵活的扩展功能，如传感器和驱动器的集成。

相比 EPCglobal 网络以及在此基础上提出的增强网络，物联网具有更广阔的前景。它包括企业与消费者的交互（如使用近场通信标签和移动式阅读器）、基于位置的环境感知服务，甚至包括公民之间的非商业性交互（如图像的地理标注、视频剪辑和评论）。本章主要讨论物流网络的商业应用和效益。然而，由 EPCglobal 网络扩展得到的一个更全面的物联网可用于实现上述优点。

物联网带来的潜在益处有：

1）更透明的供应链可见度。

2）改进的生命周期理论。

3）增强的客户关系管理。

4）智能产品和业务。

通过降低成本、提高速度、提高质量和安全处理可获得前三个益处，而智能产品和业务的目的是增长收入。

除了在线能力需求，可扩展性是物联网实施的另一阻碍。如果每个实体对象都连接到物联网中，现有网络基础设施的工作负荷将会超载。其他的一些解决方法如自治策略，不存在可扩展性差的问题，同时也不要求一直在线连接。

### 8.2.2　自主控制

与物联网不同，自主控制不需要太多的技术支持。相比应用研究，基础研究对自主控制的影响更大。研究人员在物联网的核心领域——物流产业对自主控制技术进行了详细研究，自主控制的目标是实现物流领域的高度灵活性。Bremen 大学合作研究中心（Collaborative Research Centre，CRC）637[㊀] “自主合作物流流程——模式转变及其局限性”，从 2004 年便开始研究分析物流中的自主控制技术，并定义了自主控制的特性和目标：

自主控制描述了分层结构中的分散决策过程。它假设不确定性系统中的交互元素具有独立决策的能力。自主控制的目标是实现鲁棒性的提高和对整个系统的动态性、复杂性的分布式和灵活处理。

---

㊀ 见 www. sfb637. uni－bremen. de。

CRC 637 详细解释了自主控制的特点和目标。另外，本章将敏捷性视为影响自主控制的重要因素。图 8-1 给出了自主控制结构、目标影响之间的关系。

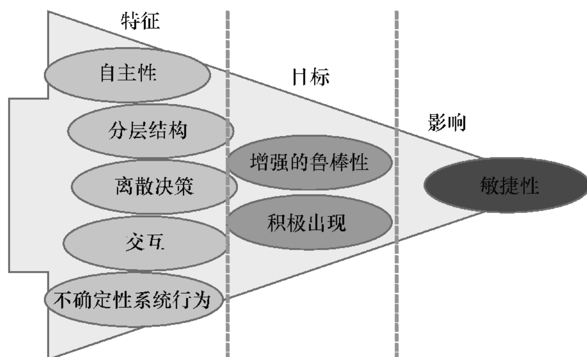



图 8-1　自主控制结构、目标及高度敏捷性

自主性和分层结构紧密关联。其中，自主性是对象的性质，而分层结构是由这些对象构成的某系统：

如果某对象能够不受外部实体的影响而自主决策，则该对象被认为具有自主性。这个外部实体可以是中央规划控制实体，也可以是同一系统中的其他对象。如果系统内没有实体对系统组件施以永久的主导影响，则认为该系统为分层结构。在分层系统中，系统组件以这样一种方式工作，以至于在组织基础层面决策过程需要所有组件的参与。所有的组件都有机会参与系统的交互，并因此形成各自的行为。

反过来，自主性和分层结构与离散决策有关，这意味着决策不是由中央规划和协调做出的，而是委托给个别系统组件进行决策。决策被理解为在不同（通常冲突）行为中作出选择，以进行必要信息的处理和实现某特定目标。

自主控制的实施意味着物流网中存在决策方案，并以方法和算法的方式对物流对象做出决策。

交互：交互作用的影响是指在决策过程中系统组件间的互相作用。虽然自主对象不受其他系统组件的支配，但其决策过程并不是独立完成的。相反，决策所需的数据和信息需要在多个组件间进行交换，故可能存在多种不同形式的交互。这些交互数据可以被其他对象访问，在对象之间进行双向数据交换和协调，可以是自主物流对象学习和配合其他对象的协调行为。

不确定性系统行为：在不确定性系统中，无法预测给定系统输入对应的输出。尽管已知管理系统的规章、系统的输入、系统的状态和系统组件，也无法预测系统的行为。因此，即使系统的输入和初始状态完全相同，系统输出可能不同。

CRC 637 定义的自主控制的主要应用目标是提高物流系统的鲁棒性和正出现。

增强的鲁棒性：CRC 637 认为，如果系统组件是自主控制的，那么该系统具有更强的抗外部干扰能力。支持这一假说的主要论据是每个系统组件都可以对不可预见的、动态的影响因素立即作出反应，系统可以进行决策更新以修正局部情形，而不需要等待中央控制的指示信令到达。

正出现：正出现是指相比每个物流对象的单一目标（如缩短交货时间和遵守交货日期）的联合实现，系统组件（单个物流对象）的决策间相互作用能更好地实现整个系统的目标。

最后，增强的鲁棒性和正出现将促进系统的敏捷性。

敏捷性：在本文中，敏捷性用于描述自主控制的业务影响力。敏捷性是企业有效回应预期的或不可预知的市场需求变化的能力。基于增强的鲁棒性和正出现，自主控制可提高系统的鲁棒性，但这并不意味着没有自主控制就无法实现系统的敏捷性。但是，如前面所述，中央规划和控制存在可扩展性问题，并需要在线网络连接。

正出现和敏捷性与物流目标的成效相关，如交货事件、物流系统的服务等级。物流目标的成效随系统复杂度等级的不同和自主控制水平的不同而变化，见图 8-2。由图 8-2 知：在复杂系统中，物流目标的成效随自主控制水平的提高而提高，直至自主控制水平达到某一特定值。只有当系统的复杂度维持在较低的水平或较高的系统复杂度急剧下降时，自主控制水平较低的系统（例如，使用传统的规划和控制方法）才能获得较高成效的物流目标。然而，随着系统行为逐渐进入无序状态，过高水平的自主控制会导致低成效的物流目标。

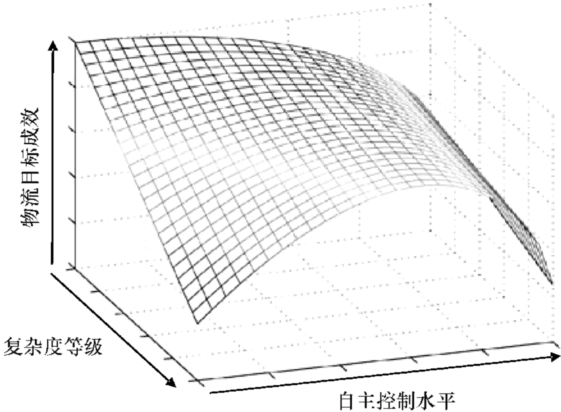



图 8-2　物流目标成效、复杂度等级和物流系统自主控制水平之间的关系

对生产物流领域中几个分散型生产控制模式的研究表明，相比常规结构模式，分散型生产控制模式能带来更高的物流目标成效。例如，对大中型金属加工企业的

作业车间的模拟实验，考虑到遵守交货数据日期和吞吐量次数，导致平均交货时间延迟了三年，相比实际操作数据减少了 20% 。Rekersbrink 等人验证了自主控制在运输场景中的影响力。他们开发了分布式物流路由协议（Distributed Logistics Routing Protocol，DLRP）并搭建了模拟场景，该场景以真实世界网络为基础，包括德国的 autobahn - net、18 个城市和 35 条无向边。他们把 DLRP 方案视为最优的方法，并作为下界，把禁忌搜索算法和类随机方案作为上界。在小规模场景中，禁忌搜索算法主导 DLRP。然而，在较大规模的场景中，DLRP 主导禁忌搜索算法。这表明，自主控制能很好地适用于复杂场景。

### 8.2.3　物流中实施自主控制的技术基础

本节介绍了自主控制的主要概念和目标，相比之下，本节将讨论如何利用当前的或新兴的未来信息和通信技术实现对象的自主控制。

自主对象的分散决策能力是自主控制的一个重要方面。CRC 637 也强调了这一点：

在物流系统中自主控制的特点是物流对象自主决策并执行决策以进行信息处理 。

自主物流对象可能是物理（物质的）对象，也可能是非物理（虚拟）对象。本章重点介绍智能物理对象。

要实现自主控制，物流系统中的不同智能物流对象必须具备存储和处理相关的本地存储数据的能力，具有与其他对象通信的能力，具备从周围环境中获取信息并进行信息交互的能力。在物流处理领域，这些智能对象应收集和处理其环境信息，并利用这些信息识别和评估其他的流程执行（如物流网中的备选运输路线）。

Scholz - Reiter 等人定义了技术能力的五个等级，这些等级都与自主控制的实现密切相关。等级范围从通过存储动态数据、分散数据处理和通信的存储实现的部分系统的简单识别，到基于材料处理的信息智能集成，保证了物流过程的自主合作：

等级一：最简单的技术能力形式，RFID 技术和其他自动识别技术被用于识别物流对象和存储在产品中的静态数据，这些对象和静态数据在产品的一个生命周期内保持不变。

等级二：在第二步中，自动识别技术通过存储动态数据得到增强。其中动态数据包括应答器上的传感器生成的存储数据，如时间、地点数据的记录和存储，例如食品行业中用于货架期预测的温度和湿度数据。

等级三：为产生新的、预处理数据并完成任务，假设有更多的增强型智能物流对象对数据进行处理。例如，预处理标签是由被动式应答器和处理能力有限的微处理器组成的。分散数据处理的另一种方法的特点是使用软件代理，代理受智能 Auto - ID 阅读器或者个人数字助理（PDA）托管。软件代理就是能根据一套既定目标自主运作的软件实体。

等级四：为了实现各对象的信息交互，物流对象被赋予与周边对象交换数据的能力。传统的 RFID 技术通常是在标签、特殊阅读器和写入设备之间进行数据交换。此外，还有 AdHoc 网络的其他射频通信协议，如 ZigBee。为优化多个设备间的数据传输，还采用了 WLAN 或 UMTS 技术。

等级五：最后，使用灵活的材料处理系统，由基于智能信息的材料处理发起行为。例如，产品组件和装配机器人之间的生产容许误差就是动态数据交换的一个例子。

## 8.3 自主物流对象与物联网的整合

### 8.3.1 识别自主物流对象与物联网中的协同作用

EPCglobal 网络和自主控制都是与信息的收集、存储和提供相关的两个概念。信息的收集和分发都属于 EPCglobal 网络领域，但自主控制可以自动作出决策。这些决策都基于实时信息的智能处理而作出的。为整合自主物流对象与物联网，将标准化的和可接受的 EPCgoble 全球网络作为自主对象的基本信息和通信结构，并将其扩展到一个更完善的物联网基础框架中，包括自主控制能力。在定义两者之间的协同作用前，首先要解答以下几个问题。

#### 8.3.1.1 数据从何处产生并用于何处

在 EPC 网络中，原始数据通过物体产生，通过业务数据进行过滤和丰富，从而可以随时随地通过网络提供有价值的信息。在自主控制系统中，需要在一个物理位置处对数据进行过滤和访问，以进行决策，在该物理位置处，决策制定机制是独立运行的，无需在线连接。即使自主物流对象在地理位置上是相互分离的，它们之间仍能够彼此交互。例如，某运输站，正在等待运输状态的货物与计划好的却迟到的运输工具之间的通信。EPCglobal 网络可以是空间上分离的软件代理的通信媒介。此外，EPCgloble 网络可以提供软件代理获取相关商业信息系统的途径。由于其标准化和稳定的网络结构，EPCglobal 网络非常适合扮演对象、贸易信息系统和软件代理之间的信息中介。EPCglobal 网络能提供信息透明度，从而能自主地决策局部独立数据的过滤率、存储和丰富贸易内容以及设置访问权限。

#### 8.3.1.2 在离线情形下如何保证运行能力

物流对象并不需要一直与因特网保持连接状态。EPCglobal 网络的运行能力以对物流对象的实时在线访问为基础。得益于自主控制中使用的软件代理，EPCglobal 网络无需连接到因特网也能运作。这就要求自主对象和 EPCglobal 网络之间具有同步能力，对软件代理进行数据更新、决策和预设。

#### 8.3.1.3　如何保证安全性和授权许可

EPCglobal 网络提供了安全机制和授权信息访问机制。自主控制系统中的决策代理应支持这些机制。那么在设计信息结构和格式以及综合方法的界面时就必须考虑这个问题。软件代理必须确保授权数据访问的自动化和安全性。

#### 8.3.1.4　在何处作出决策

利用自主控制的概念，由对象的处理能力或与对象相关的、在地理位置上隔开的代理和个人以分散的方式进行决策。

基于软件代理的自主决策过程可能成为 EPCglobal 网络不可分割的一部分。这要求 EPCglobal 网络具有可扩展性，以便存储与对象或软件代理本身相关联的软件代理的状态信息。另外，自主物流对象需要重要的背景信息，这对恰当的决策而言是非常有必要的。同时自主物流对象还要把这些决策结果反馈给更高等级的规划和控制。反过来，上级将提供更新后的背景信息（如新的传输工具），一旦上报的决策与上级设定的目标不符（例如，决策的传输路线过于拥挤），这些信息将被反馈给自主物流对象，要求上级修改规划。然后，自主物流对象将触发新的决策流程。

#### 8.3.1.5　决策是如何执行的

决策需要传达至材料处理系统的驱动器，这个过程可以在本地完成，例如，一个包裹触发了分类器。虽然在大多数应用中，EPCglobal 网络传递信息的速度足够快，但是，对于物与物之间通信的实时处理，EPCglobal 网络则显得力不从心。如果没有实时处理的要求，EPCglobal 网络及其先进的通信基础设施可能被用来传递决策，将来自软件代理的决策从 EPCglobal 网络传递至驱动器。这就需要把驱动器接口扩展至物联网。在本章中，传感器和驱动器之间存在明显的差异。传感器为物联网和自主控制系统提供信息，而驱动器则对来自这些基础设施的决策进行执行。两者使用的协议也可能极为不同。特别是数字控制的机器，必要的接口需要符合现有的方法，如 OPC 统一架构，或定义解决类似功能的新方案。

### 8.3.2　物联网中面向自主对象的集成方法

物联网和自主物流对象共享基本技术，且相辅相成。本节建议将物联网作为自主对象的“信息中介”，使用软件代理进行分散信息处理和交互，减少网络中的数据传输并削弱对象对网络访问权限的依赖性。换言之，由物联网提供宏观结构（链接到中央服务器、通信信道等），由自主物流对象的方法定义对象行为。

表 8-1 列出了当前 EPCglobal 网络中的技术，自主物流和物联网中面向对象的集成方法。

Scholz－Reiter 等人建立的五个等级的自主物流，通过区分传统数据处理（3a）和自主数据处理及决策渲染（3b）扩展模型，表 8-1 给出了不同的技术步骤及其在物流应用中的使用情况。此外，表 8-1 还对这些技术在 EPCglobal 网络、自主物

流和本章所提的集成方法中的作用进行了分析。EPCglobal 网络通过动态数据捕获、自主数据处理和智能材料处理系统的集成得以扩展，而自主控制则得益于传统数据处理和标准的、易于接受的 EPCglobal 网络结构的集成。

每一种技术都受到微型化趋势的影响，如传感器和数据处理器。从微处理器技术开始，这种趋势从未间断，微纳米技术就是最好的证明。然而，由于微处理器的价格一直居高不下（与对象价格成正比），对象本身处理能力的技术可行性还需要一定的发展时间。因此，只有先对闭环应用中的高价位对象和聚集对象配备功能强大的微处理器。当处理器的价格下降时，再逐步配置低价位的对象和开环应用。在物联网发展的初级阶段，为实现每个对象的个体处理能力，可将处理能力部分或全部转化为物联网资源，这取决于对象的自动化水平（见表 8-1）。图 8-3 所示为对象与物联网之间处理能力分配问题。

**表 8-1　比较物流自动化水平（·→支持，◦→不支持）**

| 编号 | 物流自主化水平和技术 | 物流应用 | （当前）EPCglobal 网络 | 自治物流 | 物联网允许的自治对象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 识别：数据载体，解码器/编码器 | 物品实时识别，链接相关信息 | · | · | · |
| 2 | 动态数据采集：集成的传感器，无线传感器网络 | 收集物体物理状态和环境数据，提高情境感知 | ◦ | · | · |
| 3a | 传统数据处理：ERP，SCM | 集中数据处理 | · | ◦ | · |
| 3b | 自主数据处理和决策渲染：（微型化的）分布式数据处理技术，软件代理 | 数据预处理，物体渲染的独立决策，物体对外部刺激的反应，智能特征 | ◦ | · | · |
| 4 | 通信能力：蓝牙，WLAN，UMTS 等 | 与基础设施交互 | · | · | · |
| 5 | 智能处理系统：集成的驱动器，机器人技术 | 工业用途，个人用途 | ◦ | · | · |

根据构建高度敏捷的物流系统这一目标要求，实现对象本身的处理能力是最合适的分配方式。这些完全具备处理能力的智能化对象可以在它们生命周期的很长一段时间内独立运作。由于对象实体几乎不可能进行能源密集型远程通信（如 UMTS，卫星通信），因此需要建设一条对象至物联网骨干网的基础设施连接来实现信息升级。另外，还需要同步决策和对软件代理进行预设。

我们建议利用和扩展 EPCglobal 网络来实现物联网与自主对象的整合，见图 8-3和图 8-4。

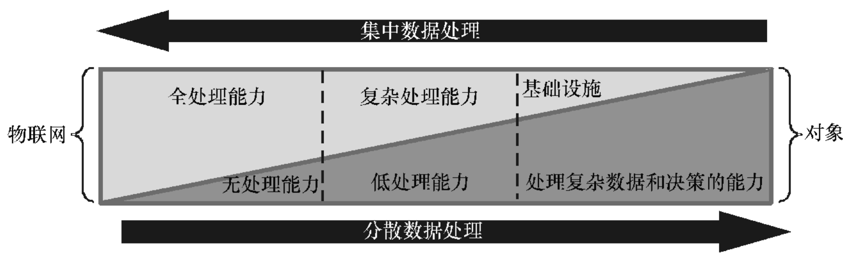



图 8-3　集成方法实现处理能力分配

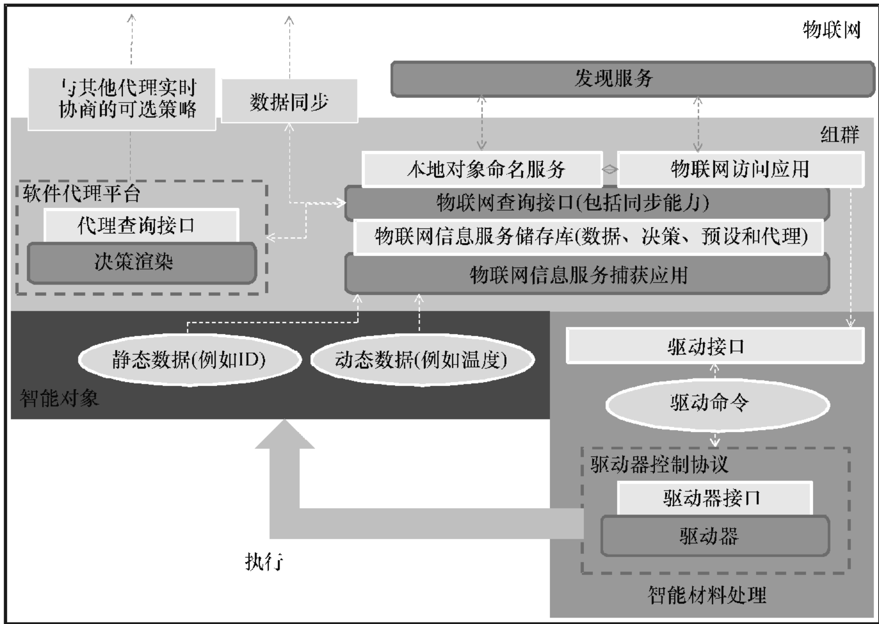



图 8-4　物联网与自主控制的整合

图 8-4 所示结构的组成包括智能对象（如包裹）、组合模块（如运货卡车）以及物联网。智能对象包含了静态数据（如标识符）和动态数据（如传感温度）。组合模块包括物联网信息服务、具有数据同步能力的查询接口、存储数据及决策的储存库、软件代理、预设和捕捉应用。物联网信息服务的作用是保证连接传统 ERP 和 SCM 系统的物联网的正确、安全数据传输。组合模块则承上启下并负责基于属性的团队建设，通过与智能对象的通信，组合模块能够找到足够多的构建集合小组所需的类似属性。组合模块起到连接上层的接口界面作用，并与其他类似组合模块的代表进行协作，以便在更高层中建立类似的模块。组合模块是由 EPCglobal 网络中已知的若干部件组成的。捕获应用与 Auto－ID 基础设施相连接。EPCglobal 网络为与 EPC 相兼容的

RFID 提供了这种功能。捕获应用也可进行扩展，用来处理传感数据。

使用离线功能扩展查询接口，需要与物联网同步，并通过标准接口与软件代理平台通信。每个智能对象，即使是没有处理能力或者处理能力非常低的智能对象（见图 8-3）都可能拥有自己的生产软件代理在软件代理平台上运行，软件代理平台是组合模块基础设施的一部分。在技术发展的下一阶段，组合模块基础设施和软件代理将能在对象本身上运行，但鉴于发展现状和技术组件的成本问题，作者认为这两种功能应脱离对象而独立运行。这一解决方案的优点是①不需要必要的处理能力，便可将对象转化为智能对象；②软件代理在地理位置上紧相邻。如果对象改变位置，软件代理就会被转移到下一个合适的软件代理平台。另外，如果网络连接可用，软件代理平台能通过物联网实时地与其他软件代理进行通信。

储存库不仅保存数据，还保存了软件代理基础设施的预设数据、不同软件代理模板和登录请求的决策等。访问应用最终需要支持驱动器。连接驱动器的标准接口应保证整合的处理系统在智能对象上运行，实现自治的最高等级。

基于背景和属性的组合模块的构建能力以及自我组织和自我分层的能力，要求物联网具有非常灵活的拓扑结构。物联网中数十亿的可寻址对象通过产生上万亿条查询和命令可快速提高数据吞吐量。聚类方法可能对物流网络的可扩展性和稳健性产生直接的影响。将组合模块作为唯一可能与组员联系的方式，独立联系每个对象所需的通信能力和能量消耗将严重下降。作为一个接口，组合模块将信息转发给相应的对象，或者将聚集的分组数据发送至上层应用。此外，当组合模块无法连接到物联网（离线使用）时，它们应能够自动运行工作，从而带来更高的鲁棒性和灵活性。

采用集成技术的方式和聚集概念控制命令，资源和状态查询的相关请求将无需经过互联网，且不会增加技术设施工作负荷。而是利用智能对象之间的通信对部分请求进行本地管理。此外，这种方法对突发事件的反应速度非常快，大大降低了信息和控制的通信力度，并提高了物联网的能量效率（通过通信的减少实现）和对象的等级水平（通过聚类实现）。

## 8.4 应用领域

为便于诠释提出的框架，本节采用一个基于智能运输车的物流传输应用作为研究案例。对目的相同或相似的产品进行分组的方法是一种高效率、低成本的优化传输能力和路由距离的方法。此外，降低传输处理排放和消耗的能量是共同研究目标。如今，这些目标都已经过中央规划和最优化处理。大型的物流网络组成中包含许多目的地和交通工具。由于运输过程的复杂性和规模，不能在一个合理的时间内集中计算得到复杂物流网络的最佳解决方案。虽然启发式算法能够得到近似的最优解，但在动态变化和离线状态，中央部署和控制设施都会出现很大的偏差。其中，

动态变化包括突发事件，如交通阻塞、突发故障、数量变化和自发订单。

图8-5对作者所提的传输物流整合方法进行了举例说明。

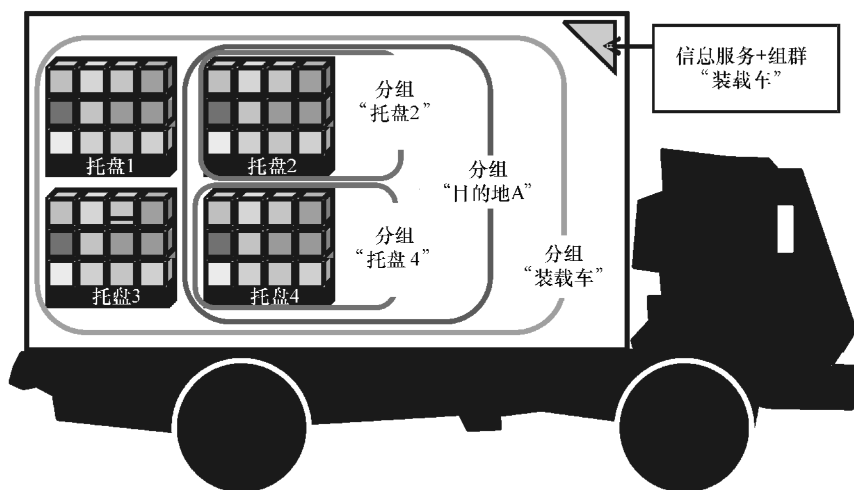



图8-5　组合模块与自动控制对象子组

一辆运输车装载了多个货盘和成千上万件物品，这些货物可能是易腐食品，如新鲜蔬菜、鱼或冷冻食品。Bremen大学的LogDynamics实验室典型场景，使用一种独特的RFID标签标识每个项目，如冷藏车，并利用安装在运输车上的固定传感器来测量不同气候区的温度。部署的RFID阅读器采用了EPCglobal第2代UHF协议并与一台PC相连，使用基于Java代理开发架构JADE的软件代理平台。此外，作为CRC 637测试研究项目之一，作者对智能运输车内的传感器网络进行了测试。然后将该场景扩展至自主控制和EPCglobal网络，主要步骤包括：

1）智能运输车上的EPC信息服务（EPC Information Service，EPCIS）的实现。

2）离线数据同步功能（移动EPCIS）的集成。

3）驱动器接口与EPCIS的集成，以激活制冷单元。

4）开发EPCIS与传感器之间的接口。

5）JADE和EPCIS的一体化。

以扩展的基础设施为基础，可执行分组算法。将同一目的地的托盘构成一个分组（见图8-5），得到运行在软件代理平台上的软件代理的支持，决定了相关的分组的利益。目标地为A的分组是装载车分组的一个子组，而组合模块可以是移动EPCIS（物联网信息服务，见图8-3）代表的智能运输车。由于运输车本身代表了EPCglobal网络中的一个智能对象，只需向其转发一次关于包装（产品）的指令。运输车软件代理对这些指令进行了分割，将相关子组传送至各自对应的分组，从而减少数据吞吐量并提高互联网内部的可扩展性。

在发生突发事件时，如在易腐商品的运输过程中，由于制冷单元发生故障导致车厢内温度不断上升。部署了温度传感器的对象能够将温度测量值传送给运输车。现代冷藏车的多温度制冷单元具有独立、可控的制冷区，智能运输车的软件代理可使用它的物联网访问应用程序并触发制冷器，根据冷藏商品的温度要求精确调整隔室的温度。温度和其他动态值的目标值、运输车和软件代理的质量模型以及指令设置可通过 EPCglobal 网络进行通信。一旦制冷装置损坏，运输车的软件代理能够使用 EPCglobal 网络寻找下一个冷藏库，或者发出请求，要求更换一辆运输路径相同的空闲运输车。因此，分散智能和因特网连接有助对重要事件的自治、高效、优先处理并提高物流流程的鲁棒性和敏捷性。

该解决方案利用低自动化水平的自治性以及通过 EPCglobal 网络传送给代理的指令集，平衡自主系统和整体业务目标的不确定性行为。

## 8.5 结论和展望

本文对物流系统中的自主对象与现有 EPCglobal 网络的整合方法进行了研究，以构成更加完善的物联网。

通过物联网结合物理对象与识别、实时定位、传感器、驱动器和信息处理技术等信息技术实体。这就要求物理对象和基于位置的企业和社会应用场景感知业务之间具有连通性。

自主对象的核心是自治、分层结构和分散决策。其目的是增强系统的鲁棒性、正出现和敏捷性。技术实现以目标识别、动态数据存储、数据处理和数据传输以及基于智能信息的材料处理为基础，该技术使用灵活智能对象构成的灵活协调系统。

为结合物联网与自主控制这两个概念，作者对 EPCglobal 网络进行了测验来作为自治对象的信息源，并尝试对决策处理的实施过程、数据或信息存储的位置、这两个概念使用的技术以及共同的应用进行解答。

为形成一套集成的解决方法，本章提出将物联网作为自主物流对象的信息中介，自主物流对象可以减少智能对象对网络的依赖并减少网络流量负荷。扩展的 EPCglobal 网络的网络结构表现出强大的协同作用和优势。在扩展的结构中，EPCglobal 网络中的标准化接口被用来集成传感器、驱动器和软件代理；聚类机制用来降低通信需求；无需一直在线连接并提高系统稳定性的自主决策则与物联网进行整合。

总的来说，这种集成的方法为物流的应用带来了巨大潜力。

尽管如此，物联网和自主物流流程的结合依然存在许多开放性的研究问题，包括要保证预设数据且决策是最新更新的且不存在冲突，能够应对集成式基础设施和分布式基础设施间的冲突决策，确定近处或远处的不同对象，并保证复制冲突情形下数据的完整性。

# 参考文献

Bullinger HJ, ten Hompel M (ed) (2007) Internet der Dinge. Springer, Berlin
Botts M, Percivall G, Reed C, Davidson J (2008) OGC® Sensor web enablement: overview and high level architecture. In: Nittel S, Labrinidis A, Stefanidis A (eds) GeoSensor networks 2006. Springer, Berlin
Bussmann S, Jennings N, Wooldridge M (2004) Multiagent systems for manufacturing control: a design methodology. Springer, Berlin
Böse F, Windt K (2007) Catalogue of criteria for autonomous control in logistics. In: Hülsmann M, Windt K (eds) Understanding autonomous cooperation and control in logistics. Springer, Berlin
Brown S, Bessant J (2003) The manufacturing strategy-capabilities links in mass customisation and agile manufacturing – an exploratory study. IJOPM. doi: 10.1108/01443570310481522
Chill-On Project (2009) Novel technologies for a safe and transparent food supply. Chill-On. http://www.chill-on.com/. Accessed 27 Aug 2009
Commission of the European Communities (2009) Internet of things – An action plan for Europe. European Commission. http://ec.europa.eu/information_society/policy/rfid/documents/commiot2009.pdf. Accessed 26 Aug 2009
Fleisch E, Mattern F (eds) (2005) Das Internet der Dinge. Ubiquitous computing und RFID in der Praxis. Springer, Berlin
Fleisch E, Christ O, Dierkes M (2005) Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge. In: Fleisch E, Mattern F (eds.) Das Internet der Dinge. Ubiquitous computing und RFID in der Praxis. Springer, Berlin
Floerkemeier C, Fleisch E, Langheinrich M, Mattern F, Sarma SE (eds) (2008) The internet of things.In: Proceedings of the first international conference, IOT 2008. Lecture notes in computer science, Issue: 4952. Springer, Berlin
Gudehus T (2005) Logistik . Grundlagen – Strategien – Anwendungen, 3rd edn. Springer, Berlin
Hejl P (1990) Self-regulation in social systems. In: Krohn W, Küppers G, Nowotny H (eds) Selforganization: portrait of a scientific revolution. Kluver, Dordrecht
Hülsmann M, Windt K (eds) (2007) Understanding autonomous cooperation and control in logistics. Springer, Berlin
Laux H. (1998) Entscheidungstheorie. 4th ed. Springer, Berlin
Nuhn H (2009) Lastkraftfahrzeuge. Herbert Nuhn. http://www.kaelte-nuhn.com/transportkuehlung/lkw.htm. Accessed 11 Mar 2009
Lopez TS, Ranasinghe DC, Patkai B, McFarlane M (2010) Taxonomy technology and applications of smart objects. Information systems frontiers, special issue on RFID. doi: 10.1007/s10796-009-9218-4
Mahnke W, Leitner S, Damm M (2009) OPC Unified architecture. Springer, Berlin
Overmeyer L, Nyhuis P, Höhn R, Fischer A (2006) Controlling in der Intralogistik mit Hilfe von pre processing labels. In: Pfohl H, Wimmer T (eds) Steuerung von Logistiksystemen – auf dem Weg zur Selbststeuerung. Dt. Verkehrs-Verlag, Hamburg
Pugachev V, Sinitsy, I (2002) Stochastic systems: theory and applications. World Scientific, Singapore
Philipp T, de Beer C, Windt K, Scholz-Reiter B (2007) Evaluation of autonomous logistic Processes – analysis of the influence of structural complexity. In: Hülsmann M, Windt K (eds) Understanding autonomous cooperation and control in logistics – the impact on management, information and communication and material flow. Springer, Berlin
Probst GJ (1992) Organisation. Strukturen, Lenkungsinstrumente und Entwicklungsperspektiven. Landsberg, verlag moderne industrie
Rekersbrink H, Makuschewitz T, Scholz-Reiter B (2009) A distributed routing concept for vehicle routing problems. In: Logist Res doi: 10.1007/s12159-008-0003-4

Sharifi H, Zhang Z (2001) Agile manufacturing in practice. Application of a methodology. IJOPM. doi: 10.1108/01443570110390462
Scholz-Reiter B, Delhoum S, Zschintzsch M, Jagalski T, Freitag M (2006) Inventory control in shop floors, production networks and supply chains using system dynamics. In: Tagungsband der 12. ASIM Fachtagung "Simulation in Produktion und Logistik, SCS Publishing House, Erlangen, pp 273–282
Scholz-Reiter B, Freitag M, de Beer C, Jagalski T (2005a) Modelling and analysis of autonomous shop floor control. In: Proceedings of the 38th CIRP international seminar on manufacturing systems. Florianopolis 2005 (on CD-ROM)
Scholz-Reiter, B, Freitag, M, de Beer, Ch, Jagalski, T (2005b) Modelling dynamics of autonomous logistic processes: discrete-event versus continuous approaches. Ann CIRP 55(1):413–417
Scholz-Reiter B, Uckelmann D, Gorldt C, Hinrichs U, Tervo, JT (2008) Moving from RFID to autonomous cooperating logistic processes. In: Miles SB, Sarma SE, Williams JR (eds) RFID technology and applications. Cambridge University Press, Cambridge
Sung J, Sanchez Lopez T, Kim D (2007) The EPC sensor network for RFID and WSN Integration infrastructure. PerComW'07. doi: 10.1109/PERCOMW.2007.113

# 第 9 章　EPCglobal 架构中安全发现服务设计

José J. Cantero, Miguel A. Guijarro, Antonio Plaza, Guillermo Arrebola, Janie Baños

**摘要**：EPCglobal 网络结构定义了一个名为发现服务（Discovery Service，DS）的功能模块。DS 从供应链的各环节捕获对象在生存周期内发生的一系列完整信息。DS 在改善业务流程及向顾客提供新服务方面存在巨大的潜力。然而，尽管在 EPCglobal 标准对其他接口的批准方面取得了一定进展，如 EPCIS 和 ONS，但针对 DS 接口的技术标准仍处于开发阶段。在标准化进程初期，本章提出了一种 DS 设计模型的分析方法，对基于提供更高安全性的模型进行了详细的设计。作者在选择的模型上部署了 DS 模块。最后，提出了一种方案，实现不同实体之间的安全通信，以及对可扩展设计中的 DS 记录进行精细的访问控制。

## 9.1　引言

基于 RFID 技术的应用，其主要动机是提供业务和物流过程的物品级可见度。通过使用全球唯一编码方案对物品进行标记（如 EPC），并在整个供应链上部署 RFID 基础设施，可实现追踪信息捕获和自动、有效处理。从商业的角度来讲，物品的轨迹就是业务流程的足迹，如物流和商业经营。

但是，要利用发展新服务和应用的事件数据来改善业务流程（电子药谱、跟踪和追踪、商品防伪等），必须共享供应链中多个参与者提供的信息。当企业意识到信息共享是实现新商业利益的关键时，他们一般不愿意以一种不受控制的方式共享信息。假设企业间共享信息的框架结构如下：

1）在一个货物的生存周期中，会涉及多个企业机构（从制造商到销售点），因此各机构使用自己的 RFID 阅读器生成各自的货物轨迹信息。

2）各机构希望能保持对货物轨迹的信息控制，拥有可控制访问的对本地数据存储。

3）只有对选定的、授权合作者进行有针对性的安排后，才能进行信息共享。

以上假设意味着受本地机构控制的分布式信息存储库是存在的。根据 EPCglobal 体系结构框架的定义（也称 EPC 网络），这些分布式信息存储库被命名为 EPC 信息服务即 EPCIS，并为授权合作伙伴提供了一个访问接口。由于供应链的组成关系复杂，所以存在多个 EPCIS 系统。为实现高效的信息共享，DS 的主要作用是确

定包含某特定 EPC 的信息的信息源。通过提供此功能，DS 在 EPCIS 中保留了对本地数据的管理功能，同时以一种高效、安全的方式为供应链中企业间的信息共享提供依据。

EPC 网络已具备商品追溯的能力：对于一个给定的 EPC，ONS 提供了负责分配该 EPC 的公司 URL（Uniform Resource Locator，统一资源定位符）。然而，DS 为供应链中的多个公司提供了一份 URL 清单，其中，该供应链上存在给定 EPC 的相关信息（通常是链接到公司的 EPCIS 的一份清单）。图 9-1 对与多个 EPCIS 有关的 ONS 和 DS 的互补作用进行了描绘。

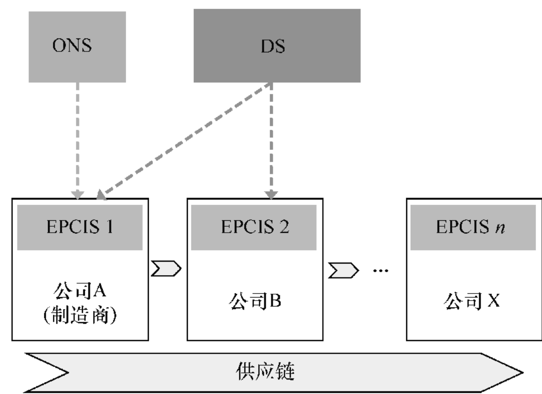



图 9-1　EPC 网络查询服务：ONS 和 DS

与 ONS 不同，客户查询 DS 时需要提供认证凭证，并且查询返回的信息要经过基于策略的存取控制系统的过滤。在 DS 中注册记录的信息提供者（发布者）根据其与潜在的 DS 查询客户端的业务关系，对这些策略进行了定义。

在设计 DS 时，应保证 DS 能够接受多个信息发布者在对象的生存周期或沿整个供应链上发布的近似实时的更新信息（包括对离开销售点或交货点的物品对象进行处理的机构，如需要修复、维护、退货、逆向物流、回收、再制造以及其他废弃处理）。由于 DS 存储着串级记录，需要对其进行容量扩展以存储更多的数据，存储容量可能达到几万亿条/年。DS 还需要为发布者和客户端的查询认证提供了一个安全环境。可伸缩的方式管理访问控制策略。

## 9.2　发现服务的潜在模式分析

在 DS 的设计过程中，需要考虑以下关键因素：

1）由于待存储的数据量可能非常庞大，需要最小化将要存入 DS 数据库的信息。

2）查询响应时间尽可能短。

3）保持外部接口与可能采用的实施技术无关，特别是数据库技术。

4）企业可操控各自数据的可见性。

5）从数据容量、安全性、访问控制和性能的角度出发，获得一个可扩展的服务。

6）易与 EPC 网络集成，以便与符合现行标准的 EPCIS 进行整合。

要设计一个考虑了上述关键因素的 DS，可选的设计模型非常多。根据“如何从 DS 中得到查询响应”，将这些模型主要分为两类：

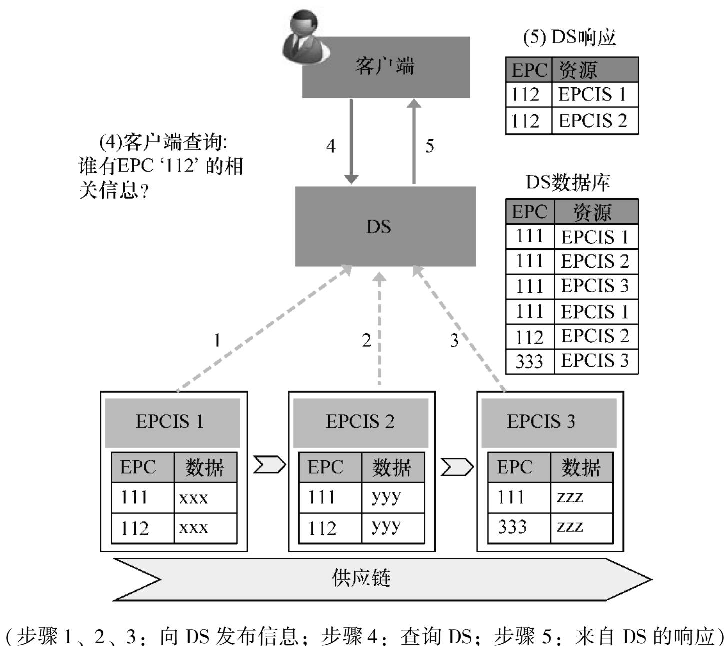
1）资源目录模型：DS 客户端直接从被请求的 DS 中获得同步响应。

2）查询中继模型：DS 将客户端的查询请求传送至资源库，然后客户端从资源（通常是 EPCIS）中接收到非同步响应。

本节主要描述和分析上述两种潜在模型。

## 9.2.1　资源目录模型

图 9-2 所示为基于资源目录模型的 DS 的主要操作流程。




（步骤 1、2、3：向 DS 发布信息；步骤 4：查询 DS；步骤 5：来自 DS 的响应）

图 9-2　资源目录模型

1）向 DS 发布信息：信息源（包括 EPCIS）将选择的信息发布给 DS。在该模型中，发布给 DS 的最小信息必须是由 EPC 信息、与 RFID 标签关联的唯一识别码以及被用来和信息源（通常为 EPCIS）进行通信的一条链接。对于一个带有 Web

服务接口的 EPCIS，这条链接可能是由 Web 服务接口位置描述组成。

2）查询 DS（一次性查询）：客户端查询具有过滤功能的 DS（至少有一个 EPC 或者 EPC 清单/范围）。一个无附带资源的 DS 给出查询响应，并为客户端提供一个 EPC 编号清单以及 EPCIS 实例的相关链接。客户端查询 DS 时，并不能立即获得 EPCIS 资源，EPCIS 必须在延迟一段时间后才会对客户端的 EPCIS 查询作出响应。

3）查询 EPCIS：客户端一旦接收到发送至 EPCIS 的列表（见图 9-2，步骤 5），它将直接联系一个或多个返回的 EPCIS 示例。当需要联系多个 EPCIS 时，该过程会加重客户端的工作负荷。但是，客户端完全控制自己的需求，并且可以改变后面的请求查询或者放弃所有的请求。

4）常设查询：客户端可以将带查询参量的订阅信息提交给 DS。在这种情形下，任何最新发布给 DS 的记录将会与当前的订阅清单进行比对。如果客户端订阅信息匹配成功，则将新的记录告知（或发送消息队列）订阅人。

5）高级查询：虽然在“纯粹”的资源目录模型中，只发布与资源相关的信息（见图 9-2，步骤 5），这些信息可能包含提供业务信息（业务步骤、状态等）的可选附加信息，这些附加信息使更高级的客户端查询变得更加方便。

基于资源目录模型的 DS 必须具备一些与以下内容相关的安全策略，包括：

1）信息发布：指定可以向 DS 发布信息的发布者及其可以/必须发布的信息。

2）客户端的查询：DS 记录的发布者将具有定义安全策略的能力，即指定什么人可以看到发布信息记录，并维持对发布的信息的可见度的精确控制。

### 9.2.2 查询中继模型

查询中继模型设计的核心思想不是向客户端透露资源的数据（例如，EPC 编号和存储在 DS 中的资源引用），而是把客户端的查询传送至资源。DS 将客户端的查询转发至处于等待状态的资源（如 EPCIS 实例），于是直接在客户端对查询的结果给予响应。另外，这个模型也支持常设查询（见 9.2.1 节），并能够在 DS 中存储订阅信息。只要常设查询注册了匹配查询的新事件，就会被传送至资源。

查询中继模型的基本操作流程如图 9-3 所示。在 DS 处进行 EPCIS 资源登记，以接收客户端查询。登记就是为持有信息的 EPCIS 指定 EPC 编号以及对 EPCIS 资源的引用。这可能包括更多的路由数据（即二级密钥），例如，对客户端的请求具有多条选择路由的 EPC 事件类型（即业务步骤）。此模型的主要流程如下：

**1. 中继查询**

中继客户端查询的优点是 EPCIS 资源保留了数据的所有权，即

1）资源控制着数据的发布，决定哪些数据发布给哪些人，因为资源掌握了对数据的访问控制。资源中的任何数据都不会直接透露给客户端。

2）资源会记录对数据的所有访问（包括成功的和失败的访问）。

3）在恶意访问一个客户端时，资源会拒绝对某些客户端的访问，因为访问控制机制策略通常被视为敏感数据。

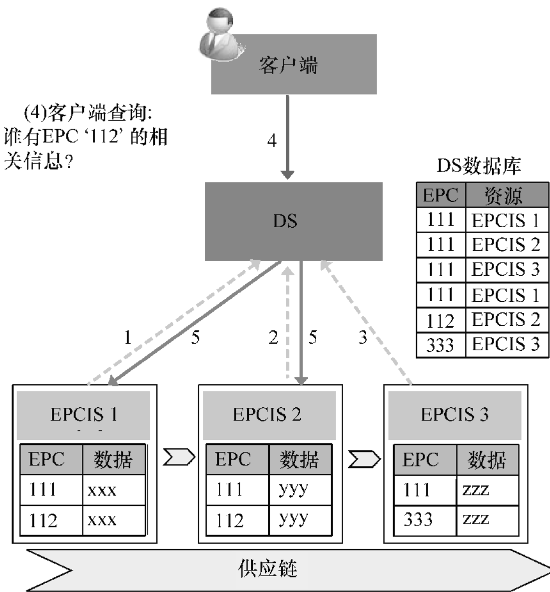



图 9-3　查询中继模型

对于客户端的中继查询，客户端不必直接连接和访问相关的资源。在不增加客户端复杂性的前提下，DS 可通过启动动态策略同时查询多个资源并应对网络癖性、连接中断和客户端的反应迟钝等问题。

**2. 路由回复**

将查询响应返回给客户端的路由选择主要有两种：

1）被查询的 EPCIS 直接建立一条连接至客户端的通路，通过该连接通路可绕过 DS 直接传达查询响应。

2）通过 DS 路由查询响应，对来自多个 EPCIS 资源的查询响应进行融合。例如，DS 能够从资源中对客户端去耦，从而隐藏来自 EPCIS 示例客户端的网络地址，反之亦然。在这种情况下，DS 必须严格保证客户端请求的保密性。

**3. 接收回复**

如果查询响应没有在 DS 中进行融合便直接被反馈给客户端，那么客户端需要接收和融合多个可能的回复。但是，如果客户端没有接收到期望数量的回复，将无法决定终止查询的时间。

## 9.2.3　对比研究及结论

在查询服务中，最重要的是要能够阻止未经授权的客户端访问存储在 DS 内的信

息。根据资源目录模型的概念，任何 DS 客户端都需要通过两个访问控制：DS 的访问控制（获取 EPCIS 链接的列表）和 EPCIS 查询访问控制（获得详细的事件信息）。

在查询中继模型中，安全策略将决定哪些 EPCIS 资源能够在 DS 中登记 EPCs 和相关的路由数据。同时，安全策略还要指出可以向 DS 提交查询请求的客户端，这些客户端要能够约束查询的参数及响应信息。

查询中继模型的访问控制策略和资源目录模型的访问控制策略不同。后者主要用来保护资源的保密性，也就是说，阻止未经授权的及可能存在危害的客户端访问资源的敏感数据（EPC 和资源引用）。这一功能的实现，需要非常精细的访问控制策略。在查询中继模型中，访问控制策略的目的是阻止对系统的拒绝服务攻击，并减少将要输送至 EPCIS 的查询信息流，使用轻量级的访问控制机制即可实现该功能。根据不同的参考标准，表 9-1 对这两种模型进行了比较总结。

表 9-1　不同模型的主要特点

| 特点 | 资源目录模型 | 查询中继模型 |
|---|---|---|
| 客户端信任机制 | 安全 | 一般 |
| 资源信任机制 | 一般 | 安全 |
| 响应延迟 | 小 | 一般 |
| 常设查询 | 支持 | 支持 |
| 访问控制 | 复杂 | 简单 |

## 9.3　发现服务设计

对比查询中继模型和资源目录模型的安全性和响应延迟特点，BRIDGE 项目选择资源目录模型来执行和部署 DS 原型。

### 9.3.1　发现服务的总体结构

DS 架构由一个数据储存库（数据库）、代理接口以及与外部实体交互的外部接口组成（见图 9-4）。

1）发布事件信息的 EPCIS。

2）查询和接收回复的客户端或用户应用程序。

DS 的设计目的是返回一个链接的时序清单给多个 EPCIS 实例，这些 EPCIS 实例中存储着关于特定 EPC（或清单/EPC 域值）的信息。因此，设计的 DS 并不是对存储在每个单独的 EPCIS 储存库中的信息进行复制或聚集，而是存储用于创建连接链清单的相关信息。需要指出的是，依据业务关系和对客户端的信任等级，生成了 EPCIS 链接清单，清单的生成充分考虑了执行查询的客户端的身份以及对应的 DS 发布者定义的访问控制策略。

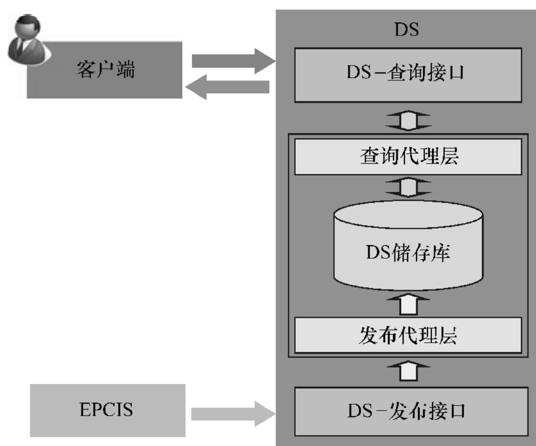



图 9-4　发现服务的总体结构

## 9.3.2　信息存储技术

DS 需要管理海量的信息（与数百万甚至数十亿个个体对象相关的信息），因此，可扩展性（即处理大量增长的数据及数据间操作的能力，包括系统为解决数据增长问题而不断演进的能力）成为选择数据存储技术的关键标准。需要参考的其他标准包括：潜在的瓶颈、响应时间、同时支持多个更新、内部数据结构、鲁棒性等。

为选择合适的信息存储技术，我们对 LDAP（轻量目录访问协议）、DNS（域名服务器）、DHT（分布式哈希表）和搜索引擎等技术进行了对比研究。如果以可扩展性为出发点，则 DHT 和 LDAP 是最适合的选择。由于数据存储的分层结构，选择 LDAP 技术为 DS 原型的信息存储技术的最突出特点是响应时间最短。一个 5 层结构的 DS 模型如图 9-5 所示。

但是，由于 DHT 为分布式模型，在大规模现实场景中具有广阔的应用前景。通过构建一张结构化的覆盖网络，DHT 的设计可用来扩充大量节点，保证持续不断的节点到达或者失败到达。

DS 结构通过代理接口实现（发布代理接口和查询代理接口）与数据存储技术的连接，这种代理接口与数据库技术有关。代理接口负责外部接口与采用的数据库技术之间的连接，在外部接口不变的情况下，提高数据库技术的灵活性。

## 9.3.3　外部接口

DS 提供了两个与网络中其他组件进行交互的外部接口：

1）DS-发布接口：从多个信息提供者（主要是 EPCIS）处捕获信息。

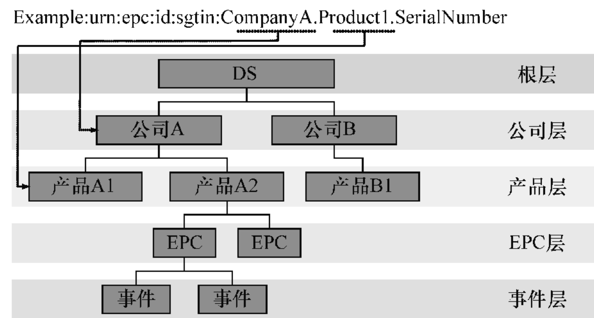



图 9-5　基于 LDAP 的 DS 原型数据库结构

2）DS－查询接口：用户应用程序执行查询和接收响应的接口。

选择 Web 服务技术用于外部接口。利用现有的技术，对不同的接口进行尽可能详细的设计。以 DS－发布接口方法为例，详细介绍了该接口的设计描述：

方法：publishRecord

参数：ds _ pulishRecord

返回：ds _ publishRecordResponse

参数字段：

返回字段：

| 字段 | 描述 |
| --- | --- |
| recordID（之前的 uniqueID） | DS 中的某具体记录的唯一标识符 |

必填字段：

<table>
<tr><th>字段</th><th colspan="2">描述</th></tr>
<tr><td>Publisher ProfileID</td><td colspan="2">确定提供记录的发布者</td></tr>
<tr><td rowspan="3">epcList</td><td colspan="2">受事件影响的 EPC 列表（真正的身份 URN）。<br>该清单不可能出现在聚集事件中。一旦出现，则通过定义可选的记录（与聚集有关）克服这种特殊情况的发生。</td></tr>
<tr><td>字段</td><td>描述</td></tr>
<tr><td>epc</td><td>EPC（真正的身份 URN，有助于信息过滤）</td></tr>
</table>

可选字段：

| 字段 | 提供者 | 描述 |
| --- | --- | --- |
| action | 发布者 | 来自枚举列表的一个字符串。该字段指出记录如何与产品生命周期中的特定阶段相对应。字段取值有“LINK”（默认值）、“CREATE”、“CLOSE”和“DESTROY”。<br>出现聚集事件时，该字段的值可以是“ADD”、“OBSERVE”、“DELETE” |

（续）

| 字段 | 提供者 | 描述 |
|---|---|---|
| businessStep | 发布者 | 词汇表，其中的元素表示业务流程中的相应步骤，如含义为“装运”的一个标识符 |
| disposition | 发布者 | 词汇表，其中的元素表示事件发生后业务对象的状态，如含义为“可以销售”或“收到”的标识 |
| eventTime | 发布者 | 发布者认定的记录时间戳，相对于国际统一时间，该时间戳的分辨率为 1s 并且时区精准。格式为 YYYY - MM - DDThh：mm：ssTZD（如 1997 - 07 - 16 T19：20：30 +01：00） |
| parentID | 发布者 | 只有发生聚集事件时，才使用该字段。该字段表示父节点的 ID |
| childEPC | 发布者 | 只有发生聚集事件时，才使用该字段。该字段表示从 parentID 中增加的、观察的或删除掉的 EPC 清单 |
| 字段 | | 描述 |
| epc | | EPC（真正的身份 URN） |

基本记录发布举例：

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<ds_publishrecord>
  <ds_header>
    <TTL>P1Y2M3DT10H30M<TTL>
  </ds_header>
  <ds_record>
     <publisherProfileID>
       7D4BA819CE274985F36F
    </publisherProfileID>
    <action>LINK</action>
    <eventTime>2005-04-03T20:33:31.116-06:00</eventTime>
    <epcList>
        <epc>urn:epc:id:sgtin:0614141.107340.1</epc>
        <epc>urn:epc:id:sgtin:0614141.107340.2</epc>
        <epc>urn:epc:id:sgtin:0614141.107340.7</epc>
        <epc>urn:epc:id:sgtin:0614141.107340.8</epc>
    </epcList>
    <bizStep>urn:epcglobal:cbv:bizstep:shipping</bizStep>
  </ds_record>
</ds_publishrecord>
```

### 9.3.4　EPCIS 的集成

当前的 EPCIS 标准不包括 EPCIS 和 DS 之间发布事件信息的具体通信机制。鉴于此，开发了名为 IS – DS 模块的集成模块，与符合 EPCIS 捕获接口标准的任意软件进行集成（见图 9-6）。

IS – DS 模块的任务是过滤相关的 EPCIS 事件信息，并通过 DS – 发布接口将过滤后的信息发送至 DS。例如，当一个对象首先被某组织接收到或该对象最后被运送到另一组织时，过滤器可能会触发向 DS 发布记录的信号。

这个集成模型对 EPCIS 而言是透明的，因此不会影响其功能性。该模块对发送给 DS 的事件进行过滤，这些事件是应该发布给 DS 的记录。开发的 IS – DS 模块已经成功地与 Fosstrak 开放资源项目开发的 EPCIS 进行了集成，并在 BRIDGE 项目的 RFID 部署实验中进行测试（http：//www. bridge – project. eu）。

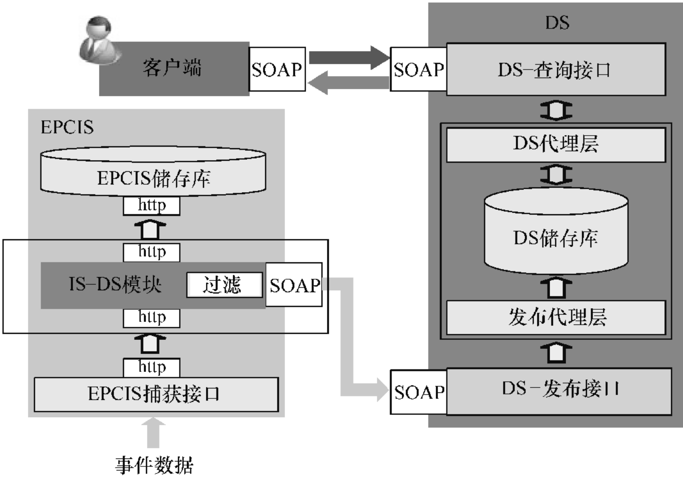



图 9-6　EPCIS 的集成：IS – DS 模块

## 9.4　安全问题

EPCglobal 体系结构的功能应该包括不同实体间通信的安全性、完整性、不可否认性和保密性。使用了 EPCIS 和 DS 服务的客户端，需要提供认证证书。交换的信息需要经过基于认证机制的访问控制策略的过滤。本节概述了不同实体间通信的安全模型以及以一种可管理、可扩展的方式应对和加强访问控制策略的安全架构。

### 9.4.1　EPCglobal 网络通信的安全模型

设计安全模型的目的是实现 EPCglobal 网络（如 EPCIS 和 DS）中不同实体间

的安全通信。该模型以 PKI（Public Key Infrastructure，公钥基础设施）模型为基础，采用了数字签名、加密和解密技术，PKI 提供的服务有：

1）信息的保密性：防止电子通信被非授权人员拦截和读取，保证通信隐私。

2）信息的完整性：防止信息在传输过程中被篡改，保证电子通信的完整性。

3）身份认证：对信息传播过程中涉及的当事人进行身份核实。

4）信息行为的不可否认性：防止信息传播过程中，人们否认自己发送信息的行为和信息的内容，提供身份验证、保密和抗抵赖的通信。

第一种方法，DS 原型采用的 PKI 模型是基于单一 PKI 结构的，在该结构中，由专门的 CA（Certificate Authority，认证授权）机构提供 PKI 服务，为所有实体 EPCIS、DS 和客户端签发证书。每个实体都有一个 X.509 证书（ITU－T），拥有一个私钥和一个公钥，分别用来加密和解密不同的信息。

使用 SOAP 协议的 WSS4J（Web Services Security for Java，Java Web 服务安全）技术可以对 DS 原型中的安全模型进行集成。WSS4J 技术是 OASIS（Organization for the Advancement of Structured Information Standards，先进的结构信息标准组织）Web 服务安全的 Java 实现，被用来实现预期的不同安全能力：

1）使用 XML－Encryption 对 SOAP 信息加密实现信息的保密性。

2）使用 XML－Signature 实现信息的完整性和不可否认性。

3）使用 XML－Signature 对 SOAP 信息签名并使用 PKI 结构进行身份验证。

为生成一条消息，接下来执行消息的生成流程（见图 9-7）：①加密 SOAP 消息主体；②用消息发送方的私钥对消息进行签发；③将签名时间戳添加到 SOAP 消息的头部（生成一条唯一的消息）。其中，消息头部包括发送方的ITU－T X.509 证书（公钥）。

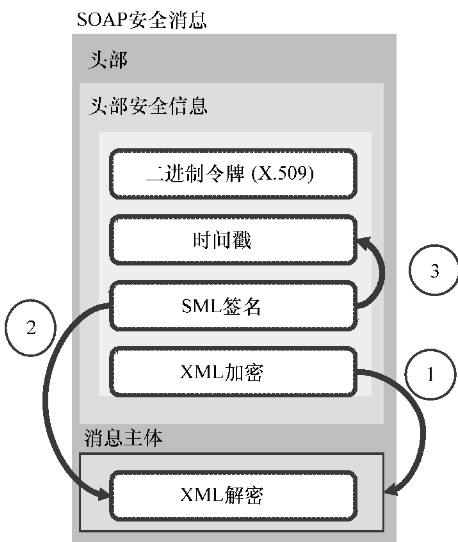



图 9-7　SOAP 消息

图 9-8 举例说明了上述的安全情景，展示了每个实体的不同证书（公钥和私钥）。DS 和 CA 公钥已被预先发送至 EPCIS 及进行查询的授权 DS 客户端。

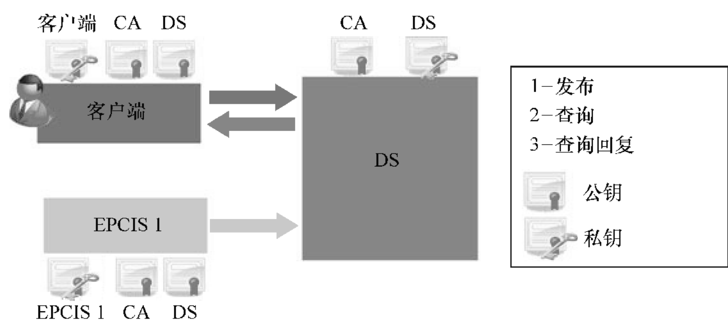



图 9-8 通信安全模型

表 9-2 描述了 EPCglobal 网络中不同实体的安全通信。根据定义的安全模型，表 9-3 对不同消息的主要安全特性进行罗列。

**表 9-2 不同实体之间的通信**

| 编号 | 通信 | 接口 | 操作 |
|---|---|---|---|
| 1 | EPCIS DS | DS – 发布 | 发布 |
| 2 | 客户端 DS | DS – 查询 | 查询请求 |
| 3 | DS 客户端 | DS – 查询 | 查询回复 |

**表 9-3 不同消息的安全特性**

| 特性 | （1）发布 | （2）查询请求 | （3）查询回复 |
|---|---|---|---|
| 对发送方进行身份认证 | 是 | 是 | 否 |
| 数字签名和加密 | 是 | 是 | 是 |
| 时间戳 | 是 | 是 | 否 |

## 9.4.2 访问控制的安全架构

安全架构的目的是安全领域内的数据或计算资源进行访问控制。访问控制安全架构以 ITU – T X.812“访问控制架构”和 OASIS 定义的可扩展的访问控制标识语言（eXtensible Access Control Markup Language，XACML）技术为基础。

根据 XACML 规范，开发的访问控制安全性架构主要是由以下实体组成：

1）PDP（Policy Decision Point，策略决定点）：PDP 评估相关策略并作出决策（允许或否定）。PDP 的创建需要 Web 服务技术的支持。通过 XACML 技术实现的两个隔开的接口可以访问 PDP。这两个接口分别是管理接口（添加、删除和查询策略）和操作接口（评估具体的策略）。策略则存储在一个基于 PostgreSQL 的数据库中。

2）PEP（Policy Enforcement Point，策略执行点）：PEP 通过对发送给 PDP 请求作出决策和实施授权决定来执行访问控制。PEP 拦截访问 DS 的请求（发布或查询），并生成访问 PDP 的请求（在 XACML 中生成），生成的请求中包含了从拦截的请求中提取的相关信息。PDP 一旦做出授权决策，则将该决策发送至 PEP；PEP 根据收到的决策，重新发送原始请求给 DS 或者停止发生请求。

3）PAP（Policy Administration Point，策略管理点）：利用 PDP 管理接口，负责管理存储在 PDP 中的策略（创建、消除或者修改策略）。

4）STS（Security Token Service，安全性令牌服务）：负责安全性令牌的签发和验证，保证实体间的安全通信。PEP 向 STS 请求签发安全性令牌，来确保 DS 通信的安全。

图 9-9 举例说明安全架构对某个 EPCIS 进行认证的行为，以发布消息给 DS。

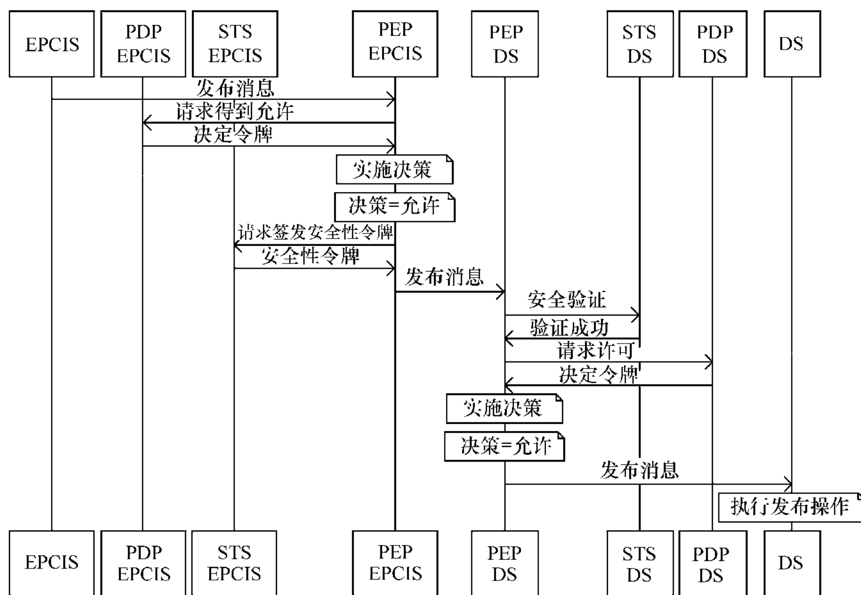



图 9-9　授权发布操作的消息交换

### 9.4.2.1　安全架构的验证环境

为验证安全架构的可行性，我们使用 DS 原型对验证环境进行了部署（见图 9-10）。

验证环境由两个 EPCIS、一个 DS、一个 PDP、两个 PEP（发布和查询）和一个 PAP 组成。我们开发了一些应用程序来模拟生成事件的功能性（发布应用）和查询信息（查询应用）。策略评价和决策都被集中在一个唯一的 PDP 中。不过，验证环境不包括 STS 实体，因为利用包含在同一实体的 ITU－T X. 509 证书，STS 实体被直接合并在每个实体上（EPCIS、PEP、DS 和查询应用）。

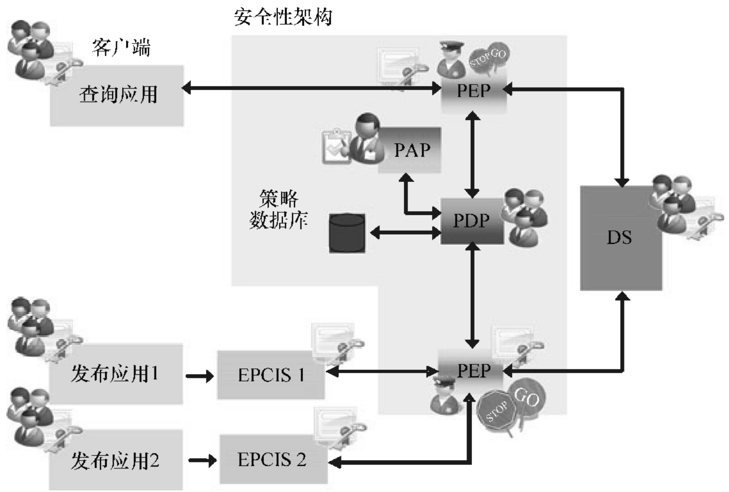



图 9-10　安全性架构的验证环境

#### 9.4.2.2　访问控制策略

访问控制策略是安全架构的基石。利用 XACML 语言定义策略，定义了策略语言提供的语法和处理策略的语义。策略的定义包括使用者（发出请求的人）、行为（使用者想做的事）、资源（在何处实施行为）以及规则（决策：允许或否定）。XACML 策略的总体结构如下：

```
<Policy>
  <Target>...</Target>
  <Rule RuleId="Rule1" Effect="Permit">
    <Target>
     <Subjects>AnySubject</Subject>
     <Resources>AnyResource</Resources>
     <Actions>AnyAction</Actions>
     </Target>
     <Condition>
     </Condition>
  </Rule>
</Policy>
```

通过定义策略来验证安全架构是一个挑战。DS－发布和 DS－查询接口都没有定义一个能够识别使用者的标识符字段（试图发布信息 EPCIS 或发起请求的客户端正进行查询）。因此还不能识别这个使用者。然而，由于场景中的实体（DS、EPCIS 和客户端）在通信时使用 ITU－T X.509 数字证书进行认证，而证书中使用者的信息是独一无二的，所以可以尝试使用证书中的使用者的信息对使用者进行识别。

## 9.5　结论

目前已有多种不同的模型可用来设计发现服务（DS）。对集成在当前 EPCglo-

bal 网络中的 DS 原型的设计、实现、部署和验证证实了资源目录模型的可行性。

采用基于标准技术的通信安全模型实现了通信安全的目标（身份验证、完整性、保密性和不可否认性）。

基于本章提出的访问控制安全架构，信息的发布者以一种可扩展的、安全的方式决定哪些人可访问哪些信息。这个安全架构同样能够与其他的网络服务进行集成，如 EPCIS，甚至是与 EPCglobal 网络无关的服务。

访问控制策略是网络服务部署访问控制安全架构的基石。为适应复杂供应链场景中具有挑战的需求，XACML 已验证了策略在定义精确访问控制策略方面的灵活性。

此外，未来研究工作主要集中在以下方面：

1）设计并给出 DS – DS 接口原型，以构建一个 DS 联合体。

2）基于 DHT 信息存储技术的 DS 原型设计。

3）在真实供应链场景中进行 DS 试验，获得性能数据并评估商业利益和物流过程。

4）以 XACML 为基础，研究有助于最终用户定义和管理复杂精细策略的语言工具。

详细设计的 DS 原型已经贡献给标准化组织（如 EPCglobal 和 IETF），且源代码由 AT4 wireless（公司名称。—译者注）使用 LGPL 许可协议进行分发给对 DS 感兴趣的一些公司和研究机构。

致谢：本章的研究工作已在 BRIDGE 项目工程中得到发展（http://www.bridge – project.eu），且受到欧洲委员会第 6 次架构规划项目（合同号 IST – 2005 – 033546）的资助。作者非常感谢 BRIDGE 项目工程中“等级查找服务”和“安全性”工作组的合作伙伴，特别是 Mark Harrison（University of Cambridge）、Trevor Burbridge（BT）、Andrea Soppera（BT）和 Oliver Kasten（SAP），感谢他们在设计 DS 原型和访问控制安全性架构工作上给予的帮助。

## 参考文献

Burbridge T, Broekhuizen V, Farr J et al (2007) RFID Network confidentiality. http://www.bridge-project.eu/data/File/BRIDGE_WP04_RFID_Network_Confidentiality.pdf. Accessed 3 Mar 2010

Cantero JJ, Guijarro MA, Arrebola G et al (2008) Traceability applications based on Discovery Services. In: 13th IEEE international conference on emerging technologies and factory automation (ETFA), Hamburg

EPCglobal (2009) The EPCglobal architecture framework. http://www.epcglobalinc.org/standards/architecture/architecture_1_3-framework-20090319.pdf. Accessed 3 Mar 2010

EPCglobal (2008) Object naming service (ONS) version 1.0.1”. http://www.epcglobalinc.org/standards/ons/ons_1_0_1-standard-20080529.pdf. Accessed 3 Mar 2010

EPCglobal (2007) EPC information service (EPCIS) version 1.0.1. http://www.epcglobalinc.org/standards/epcis/epcis_1_0_1-standard-20070921.pdf. Accessed 3 Mar 2010

Fosstrak (2010) http://www.fosstrak.org/epcis/index.html. Accessed 3 Mar 2010

Guijjarro MA, Arrebola G, Cantero JJ et al (2008) Working prototype of serial-level lookup service. http://www.bridge-project.eu/data/File/BRIDGE_WP02_Prototype_Serial_level_lookup_service.pdf. Accessed 3 Mar 2010

ITU-T (2005). Information technology – open systems interconnection – the directory: public-key and attribute certificate framework, recommendation ITU-T X.509. http://www.itu.int/rec/T-REC-X.509-200508-I/en. Accessed 3 Mar 2010

ITU-T (1995), Information technology – open systems interconnection – security frameworks for open systems: access control framework, recommendation ITU-T X.812. http://www.itu.int/rec/T-REC-X.812/en. Accessed 3 Mar 2010

Soppera A, Burbridge T, Bowman Paul et al (2009) Final report on network confidentiality. http://www.bridge-project.eu/data/File/BRIDGE_WP04_Final_Report_on_Network_Confidentiality.pdf. Accessed 3 Mar 2010

OASIS (2009) "eXtensible access control markup language (XACML) version 3.0". http://www.oasis-open.org/committees/document.php?document_id=32425. Accessed 3 Mar 2010

OASIS (2007) WS-Trust 1.3. http://docs.oasis-open.org/ws-sx/ws-trust/200512/ws-trust-1.3-os.pdf. Accessed 3 Mar 2010

University of Cambridge, AT4 wireless, BT Research et al (2007a) Requirements document of serial level lookup service for various industries. http://www.bridge-project.eu/data/File/BRIDGE WP02 Serial level lookup Requirements.pdf. Accessed 3 March 2010

University of Cambridge, AT4 wireless, BT Research et al (2007b) High level design for discovery services. http://www.bridge-project.eu/data/File/BRIDGE WP02 high level design discovery services.pdf. Accessed 3 Mar 2010

W3C (2008) XML Signature syntax and processing (Second Edition), W3C recommendation. http://www.w3.org/TR/2008/REC-xmldsig-core-20080610/. Accessed 3 Mar 2010

W3C (2007) SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging framework (Second Edition) W3C Recommendation. http://www.w3.org/TR/2007/REC-soap12-part1-20070427/. Accessed 3 Mar 2010

W3C (2002) XML encryption syntax and processing. W3C recommendation. http://www.w3.org/TR/2002/REC-xmlenc-core-20021210/. Accessed 3 Mar 2010

# 第 10 章　物联网背景下发现服务体系结构的评估

Elias Polytarchos, Stelios Eliakis, Dimitris Bochtis, Katerina Pramatari

**摘要**：近年来，物联网迅速发展，若能在物联网环境中开发并部署高效、可扩展的发现服务，将非常利于物联网的成功。为验证发现服务的设计能否更好地满足特定应用的需求，则需要评估和比较不同发现服务体系结构的性能。因此，本章针对给定的物联网范例，利用仿真实验评估不同发现服务的有效性、可扩展性和性能。本章所提方法使用 OMNeT + +，将发现服务应用到具有业务查找发现服务的供应链中，其中 OMNeT + +是一个开源的网络仿真软件。然后深入研究了仿真设计并详细分析了实验结果。

## 10.1　引言

物联网为人们提供了一个高度智能化、网络化的生活环境，人们可与其进行各种不同的交互。但是，物联网仍然是一个新的研究领域，而且在物联网实现之前需要克服许多重要的难题。EPCglobal 工作组致力于被识别对象的信息采集、存储、更新、定位和信息共享的研究，但仍存在许多开放性的问题。EPCglobal 的唯一识别标准是基于 RFID 技术的。有了 RFID 技术，计算机能够自动辨认和识别日常物品，然后寻迹、跟踪、监控、触发事件，最后对这些物品执行相应的处理。RFID 技术有助于将“互联网”扩展为“物联网”。研究人员从不同的角度开展了物联网研究，并解决了物品识别、隐私安全、模块化软件开发、成本节约、发现服务等方面的问题。

虽然物联网可以为商业和组织机构带来很大的利益，但随着可用信息的增加，会导致许多问题出现。保证信息的隐私性、安全性和完整性是新服务的判断标准，而这些服务将被用于物联网中。信息安全问题应在大规模部署物联网系统之前得到解决。为了解决隐私和信息管理等问题，我们提出开发和部署合适的、灵活的基础发现服务（DS）。所以，在设计这种服务的过程中，重点关注 DS 的可扩展性和性能。

本章主要寻找能够执行发现服务的体系结构和协议，并比较这些体系结构和协议的可扩展性和性能。由于供应链中的物品跟踪场景是一个不断变化的场景（许多物品总是不断地在供应链中发生位置的移动），所以选择该场景作为使用 DS 的

场景。另外，该场景中存在多个信息和服务提供商，增加了系统的复杂性。仿真结果表明无论是技术问题还是业务问题都会影响 DS 的设计，反之亦然。通过测量 DS 体系架构的负荷，完成了对关键设备的评估，并筛选出合适的结构。通过改变供应链的结构，例如改变销售的数量、零售商和供应商的数量，可以评估这些变化对整体结构的影响。

## 10.2　物联网背景下的发现服务

高效和可伸缩的 DS 是物联网的根本。现有文献对 DS 的替代叫法有“查找服务”、“目录服务” 和 “命名服务”。贸易伙伴利用 DS 可找出所有拥有某特定商品的机构并共享商品对象事件。DS 还提供了到供应链中多个信息供应商的指针（该指针指示了持有某特定 EPC 信息的所有机构的信息服务地址）。

EPC 是由字母和数字组成的一个标识符，用来唯一标识供应链中的物品对象。识别码编码用于检索供应链中对象的相关信息。编码机制为 EPCglobal 的标准化机制。

对 DS 的主要要求如下：

1）组织机构应对他们存储在 DS 体系结构中的数据进行管理。这些数据包含属于他们的 EPCIS 节点的地址，他们已提交的对象的数据等级项，以及对相同数据的访问权限。

2）设施自身应能够保证基础设施的使用人的保密性。

3）DS 的设计应能保证系统的可用性和可靠性。

4）物联网中实体间关系的变化不能影响实体与 DS 的交互。

5）DS 应被并入一个能够加入 EPCglobal 网络的构架。

6）DS 的结构应具有可扩展性，能够处理越来越多的对象和新加入 EPCglobal 网络的节点（例如，EPCIS 服务者）。

7）响应请求的基础设施必须是完整的和有效的，并且要符合利益相关者的权益。

已发表的 DS 相关研究成果并不是很多，大多数研究工作提出的架构都采用层次结构，这种结构与目录服务的结构偏离不大，且大部分的这种结构是集中式的，不是为分布式的、动态的和不稳定的环境而设计的。物联网中交换的信息量非常大，与目录服务方法（例如，UDDI 和 ONS）相比，这种结构需要更多的资源。另外，信息和位置的不断变化也为 DS 的设计提出新的要求。同时，许多科研人员试图减轻安全和隐私问题。目前还没有提出集中解决基于异构普适设备顶层信息分享的效率和可扩展性的建议。

接下来，对物联网中设计的一些查询服务进行简要的回顾。

## 10.2.1 ONS

ONS 规范对以因特网的标准化 DNS（Domain Name System，域名系统）基础设施为基础的系统进行了介绍，为 EPCIS 服务提供了一种查找待查找物品 EPC 的方法。

ONS 指向若干 EPCIS 的方式与 DNS 指向一个 IP 地址的方式类似，主要的区别在于 ONS 把一个 EPC 分解成一个 URL 列表，DNS 把一个 URL 分解成一个 IP 地址。而最关键的问题是，把 ONS 设计一个只能查找产品类型信息的集中式服务，而不是查找对象的个体实例信息。使用 ONS 基础设施对单个产品级信息进行精确访问，不是一种可扩展的解决办法，因为物联网中的对象数量会随时间不断增加。此外，对 ONS 的安全分析表明，DNS 并不是构建 DS 的最好架构。另一个问题是，考虑到更新 ONS 记录的程序，供应链中物品的位置移动会带来数据可靠性和安全性方面的问题。

## 10.2.2 EPC 发现服务

EPC 发现服务构成了 EPCglobal 定义的网络的追加层。EPC 发现服务应能够建立至特定对象的不同信息资源的链接。这些资源就是在对象生命周期内的一些时间收集对象数据的实体（例如，组织机构、工厂、零售商店）。这样，客户端便可以利用信息提供者的标准 EPCIS 信息找出来自多个提供者的信息，从而生成更完整和更准确的信息。

EPCglobal 的 DS 规范尚未完成，但在 OpenSLP 中介绍了两种别的体系结构。

### 10.2.2.1 目录服务

第一种体系结构是 RFID 目录服务。图 10-1 给出了基于目录的 DS 的操作流程。

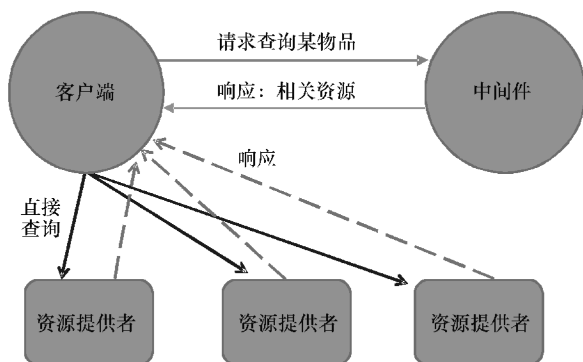



图 10-1 RFID 目录服务

RFID 目录服务也支持常设查询，其中，客户端希望能够接收 EPCIS 储存库接收到的新事件的所有未来更新，然后与客户端的具体查询条件进行匹配。这需要把订阅请求从客户端发送至目录服务。然后，当 EPCIS 在目录服务中更新信息时，目录服务将根据信息的变化通知相应的客户端。

目录服务包含了 EPCs 和 EPCIS 服务对列表，该列表能够提供服务和数据。查找过程如下：

1）EPCIS（R）通知 EPC 的相关信息给目录服务（I）。

2）客户端（C）从目录服务中请求 EPCIS 保存某 EPC 的数据。

3）EPCIS 的客户端请求服务。

#### 10.2.2.2　查询中继

第二种体系结构是查询中继，如图 10-2 所示。在查询中继发现服务体系中，客户端（C）的请求通过中介（I）传递到适当的 EPCIS（R）；EPCIS 与客户端建立连接，为其提供服务。查询中继体系提供更安全的方法。EPCIS 可能不响应客户端的查询。结果，客户端无法判断是否有一个特定对象的可用 EPCIS。

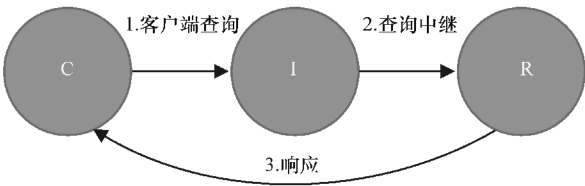



图 10-2　查询中继

对于常设查询，订阅请求被送达 EPCIS，EPCIS 则通知发送请求的客户端进行适当的调整。

假设流动的产品信息是商业机密信息，很显然，企业通常不愿意把这些信息提供给任何人。因此，为了使 EPCIS 显示 EPC DS 的结果清单，有必要获得 EPCIS 所有人的同意。

虽然已经确定了 EPC 目录服务的具体要求，但是技术规范和标准仍处于研究中。

### 10.2.3　业务查找服务

业务查找服务（Service Lookup Service，SLS）为 3 层的分层结构，克服了 ONS 的缺陷，是一种更高效和可扩展的服务。

由于 SLS 与第一候选体系结构 EPC 目录服务之间存在一些共同特征，因此本节主要对 SLS 结构的性能和可扩展性进行评估。两种服务都是通过指针（即 URL）对 EPC 的相关查询给予响应。但是，SLS 更具有可伸缩性，因为当 ONS 在 EPC 网

络中的角色没有精确定义时，它定义了一个抽象层，即对象目录（Object Directory，OD）。

接下来，简要定义 SLS 的不同层。

#### 10.2.3.1　对象目录

OD 是 SLS 的最高层，存储着位置信息，如用户在什么地方对一个特定对象的相关信息进行了查询。

OD 相当于物品对象世界的 DNS。但它并不是基于 URL 的域名解析，而是基于对象的 EPC。能建设和运作，就好比 ONS。与 ONS 不同，OD 记录指向某特定对象的服务目录/路径，并非指向一个 EPC 的信息服务器。

每一个要访问 OD 服务器的请求查询都包含一个对象的 EPC，OD 应返回对象服务的目录服务器地址（解释如下）。

#### 10.2.3.2　对象服务的目录

该层位于 SLS 的第二层，存储着某指定对象提供的信息服务的相关信息。另外，该层还保持了每个对象服务信息持有人控制的对象的位置信息。比如，到 SLS 第三层的一条链接、到对象服务信息服务器的链接等。

每个对象服务的目录（Object Services' Directory，OSD）服务器都包含某一类型产品的信息（例如对象类，它是 EPC 代码的一部分）。

#### 10.2.3.3　对象－服务信息服务器

第三层含有许多对象－服务对（即对象－服务信息服务器）的实际对象服务信息。对象－服务信息服务器（Object－Service Information Server，OSIS）是保存实际信息的结构层。OSIS 相当于 EPCglobal 网络中的 EPCIS。

在理想情况下，供应链的每个节点（即制造商、供应商、零售商）都应该有自己的 OSIS。

### 10.2.4　其他

对物联网中发现服务的其他建议如下：

服务定位协议（Service Location Protocol，SLP）最初是一个因特网工程任务组（Internet Engineering Task Force，IETF）的标准跟踪协议，网络应用程序利用该协议提供的框架能够发现企业网络中网络服务的存在、地点和配置。但是，SLP 并不是整个因特网的全球协议系统，而是为企业网络提供共享服务，这使得该协议不适于开发 EPC 发现服务。

C. Kurschner 等人提出了发现服务设计的主要需求，并设计了一个解决信息共享的隐私和安全性问题的“查询中继”解决了该问题。他们提出了“查询中继实体”的概念，“查询中继实体”可在每个机构实现完全的访问控制。

S. Beier 等人首次实施发现服务并展示了发现服务的可行性和有效性。他们试

图解决安全性、隐私和可扩展性问题，但他们的实施办法相对简单且不成熟，因而无法适用于整个“物联网”。

S. Evdokimov 等人面临的是 ONS 单向性问题，即安全匿名问题。他们提出了 ONS 多极化（MONS），是为实现 ONS 的多极化而设计的一种结构。然而，该方法继承了 ONS 的不足之处，也不能作为发现服务的解决方案。

Afilias（参见 OMNeT + + 的 Web 链接）提出了企业解决方案。Afilias 发现服务（ADS）采用一种开放性网络服务协议，即可扩展的供应链发现服务，同时给出了符合 EPCglobal 标准的辅助 ONS。ADS 的结构与采用的 ONS 和 EPCglobal 标准有关，但不能解决安全性和可扩展性问题。

## 10.3 评估发现服务

上述每个 EPC 目录服务的结构分别用于解决不同的问题，且各有优点。因此，为了找出适用于物联网的最佳方案，或找出能更好地满足内在发现服务组织的需要的方案，有必要对不同的 DS 结构进行比较和评估。

对 DS 结构的性能评估，主要考察效力、效率、安全性和可扩展性参量。

接下来，我们以 DS 的可扩展性的评估为例，对 SLS 发现服务体系结构进行模拟仿真。

在仿真中，SLS 代表了发现服务的分层方法。假设可扩展性最不理想的情况下，SLS 相当于 ONS。由于 SLS 的分层结构比 EPC 结构的层次多，因而这种假设是有效的。

## 10.4 仿真设计

下面将介绍仿真的方法。具体的仿真结果见本章附录。

### 10.4.1 仿真环境

为评估发现服务的体系结构，我们设计了一条供应链并对其进行仿真，便于实施 SLS 方法。仿真平台采用 OMNeT + + ，OMNeT + + 能够对独立事件进行仿真，被广泛用来模拟计算机网络和其他分布式系统。其最大优势之一是它是开放的资源，使其具有高度可配置性。OMNeT + + 支持可重用元素构成的大型网络。通过强大的图形用户界面监控仿真模型，用户监控每个仿真组件及它们之间的交流信息。这些特性使 OMNeT + + 成为理想的仿真模型。

需要注意的是，当零售商数目大于 5 时，OMNeT + + 无法给出计算结果。这表明，即使在一个规模相对较小的供应链中，发现服务的基础设施负荷也是巨大的。

因此，需要一个高度可扩展的结构。SLS 通过添加更多的对象服务目录服务器的方式处理负荷问题。

## 10.4.2　拓扑结构

仿真背景为一条零售供应链。每个零售商都拥有若干零售商店和一个中央仓库。商店和仓库被视为模拟网络中的节点。供货商的仓库和工厂也是两个网络节点。

模拟仿真拓扑还包含了 SLS 发现服务的三个结构层：

1）一个对象目录服务器（OD ——第一层）。

2）执行对象服务目录的服务器若干（OSD ——第二层）。在实验中，没有对产品的类型进行分类，但并不会影响最终结果。另一方面，“产品数量”这一变量可能会对仿真产生重要影响；因此，如果每个 OSD 服务器管理一种类型的产品，本实验将只需要一个 OSD 服务器。

3）SLS 的第三层由供应链节点构成，因为这些节点负责为对象（对象——服务信息服务器）提供服务和信息。仿真网络拓扑结构如图 10-3 所示。

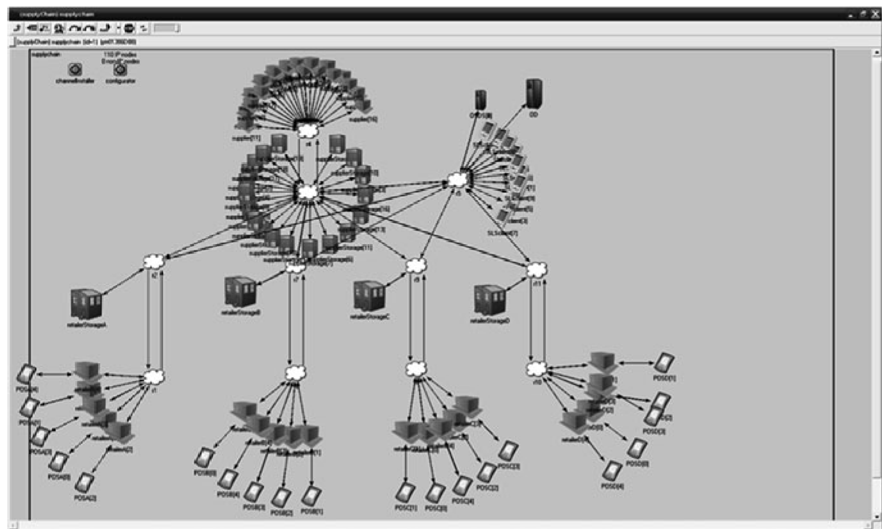


图 10-3　仿真环境

## 10.4.3　主要仿真场景

为评估 SLS 发现服务，模型中供应链的节点必须遵守以下规则：

1）仿真从 0 时刻开始，此时开始零售商店进行长达 12 小时的商品销售。商品的销售服从泊松（$\lambda$）分布。销售事件在 12 小时内是随机分布的，且销售事件的平均数为 $\lambda$。

2）12 小时之后，停止销售，零售商仓库订购商品。订购商品的数量等于已售出的商品数量。

3）订购的商品将会在 12 小时后到达零售商仓库（这期间零售商店不对外出售商品）。零售商店根据 SLS 体系结构更新发现服务。

4）12 小时后零售商的仓库向供货商仓库发出订单。订购的商品数量等于所有零售商的商店售出的商品数量的总和。订单则被随机分配给零售商。

5）零售商仓库收到商品之后，零售商更新 SLS 中的商品数据。

6）最后，工厂完成了一份订单要求数量的商品的生产后，它将用生产的商品更新 SLS。

### 10.4.4 SLS 基础设施仿真

通过对 SLS 发现服务仿真，设立了以下规则：

1）一个节点每次只接收一个对象。

① 为了定位管理该对象的对象服务目录服务器（Object Service Directory Server，OSDS），对该对象的 EPC 查询将被发送至对象目录服务器。

② 节点利用 OSDS 接收应答，然后它把对该对象要实施的服务通知给 OSDS。

2）每当一个供应商生产出一个对象（产品）时，他会负责更新指定的 OSDS。

3）每当一个 OSDS 收到一条以前未注册过的对象的更新时，将通知对象目录（Object Directory，OD）新对象的存在。

4）当 OD 接收到一个产品的相关查询时，将返回负责管理该产品对象的 OSDS 的地址。

### 10.4.5 测试模型中的变量和指标

为了从采用的目录服务结构中获取有用结论，修正特定的实验参数并记录这些修正的含义。修改的参数包括：

1）每个零售商的零售商店个数。

2）每天销售的商品的平均数。

3）供应商的数量。

4）接收或生产新商品时，更新 SLS 基础设施的方法。特别地：

① 对于每个接收的或生产的商品，要发送其更新信息。

② 每接收到 1000 个商品，要发送累积更新。

对修正进行评估的方法有：

1）SLS 分层结构的第一层的负荷。

2）SLS 分层结构的第二层的负荷。

3）在仿真平台能力下，基础设施能够支持的最大数目的零售商店。

负荷的定义为 1 小时内一个 SLS 节点能接收到的信息和查询的数量。

## 10.5　实验结果

本章附录给出了仿真试验的结果。由于 OMNeT + + 的局限性以及服务器的处理能力有限，尽管结果令人满意并证明了结果的统计意义，但不能得到一个全面的统计分析。复杂供应链的大量仿真的完全统计分析应能够给出获得最佳性能所需的服务器数量，其中该复杂供应链中产品的移动场景是对实际供应链的映射。

我们可以从附录中得到一些有用的结论，并认识到物联网中发现服务将要处理的问题。

图 10-5、图 10-6、图 10-8、图 10-10、图 10-12、图 10-14、图 10-16 和图 10-18为基础设施的负荷仿真图，当零售商接收到新商品时，最高的峰值代表了零售商和 SLS 之间的交易；较低的峰值代表了供应商和 SLS 之间的交易，供应商通知 SLS 有生产的新商品到达。对这些结果的分析表明，SLS 能在很短的时间内完成高负荷处理，而不是每天相对平均地处理负荷吞吐量。

显然，售出商品总量和零售商店的数量导致 SLS 基础设施的负荷的增加（见表 10-1）。售出商品总量和零售商店的数量，影响沿供应链运输的商品平均数，从而导致 SLS 负荷的增加。

**表 10-1　修正零售商店的数量时对应的平均负荷**

| 零售商店数量修正值 | 对象目录（平均负荷） | 对象服务目录服务器（平均负荷） |
|---|---|---|
| 零售商店数量 = 3 | 165477 采样数/小时 | 41369 采样数/小时 |
| 零售商店数量 = 5 | 284382 采样数/小时 | 71095 采样数/小时 |

供应商数量的增加不会影响 SLS 基础设施的效能，影响负荷的参数是供应链上商品的数量，与销售商品的数量和零售商店的数量有关。更多的供应商并不能带来更高的销售量，因此供应商数量的增加不会增加发现服务基础设施的负荷。

大规模的 SLS 更新机制仿真试验，即 OSD 服务器的更新，不是针对每一个单独的生产事件，而是针对一组事件，这种更新机制将极大地提高系统的可扩展性（见表 10-2）。表 10-2 对大规模更新对服务器负荷的影响进行了介绍。处理 1000 个 EPC 所需的计算能力与计算一个对象和大规模更新所需的计算能力是一样的。

**表 10-2　修正 SLS 更新机制时服务器的平均负荷**

| 修正 SLS 更新机制 | 对象目录（平均负荷） | 对象服务目录服务器（平均负荷） |
|---|---|---|
| 大规模更新 | 156021 采样数/小时 | 39 采样数/小时 |
| 单个对象更新 | 284382 采样数/小时 | 71095 采样数/小时 |

在仿真实验中，除采用的技术外，还需要考虑管理方面的一些问题。

初始观察指出，每个节点产生的消息、查询和回复的负荷被分布在共享的基础设施 SLS 中。每个节点的有效负荷不同，因此，会出现维护和管理成本分配不均的问题。

另外，SLS 发现服务根据类型—等级—品牌或任意特征，对所有物品进行单独处理。一个对象就是一个 EPC，并且等于其他带有 EPC 的对象。不过，不同物品对象的生产成本不同，且带来的利润也不同。因此，对 SLS 的有效负荷而言，一个生产低利润的廉价产品的节点产生的负荷和一个生产高利润的高价产品的节点产生的有效负荷是相等的。假如这些节点处的供应商生产相同数量的产品，这两个节点会对 SLS 基础设施产生相同的负荷。因此，这两种节点使用发现服务（或物联网）的成本也是不一样的。

## 10.6 结论和展望

根据仿真结果得出结论：服务的分层方法可能存在业务负荷过大和信息的高度稳定性问题。因此，应该考虑使用诸如“分布式哈希表”此类的解决方法。

为决策和评估供应链中物联网发现服务的性能，可采用本章提出的模拟范例。

一个可能的方法可以确定供应链的变化和发现服务的变化的影响。通过模拟仿真实验可判断发现服务对供应链的修正的适应能力，如供应链的分离与合并。

我们并不是为了得到不同 OSD 服务的数量和精确拓扑结构才执行全面、详细的统计分析。统计结果表明，OSD 服务器应能实现最优性能。研究的初衷是提供一个分析物联网中发现服务的性能和可扩展性的范例，这些服务发现要能够适用于不同的体系结构（特别是 EPC 发现服务）。即使提出的结构比当前的结构（EPC 发现服务）更具分散性，由于存在可扩展性和性能问题，而不能被视为一种合适的方法。供应链中节点和合作伙伴的数量增加了总体结构的复杂性，未来将主要集中研究更具可扩展性的分布式方法。

## 附录

以下给出了不同模拟场景下的仿真结果。在每幅图中，横轴代表时间，纵轴可能是对象数量，也可能是采集数。

**场景 1：12 个零售商店—低销售量—EPC 寻址**

**表 10-3 场景说明**

| 零售商店的数量 | 3 |
|---|---|
| SLS 更新方法 | 单个对象 |
| 供应商的数量 | 20 |
| 售出产品的平均数量 | 432/天 |

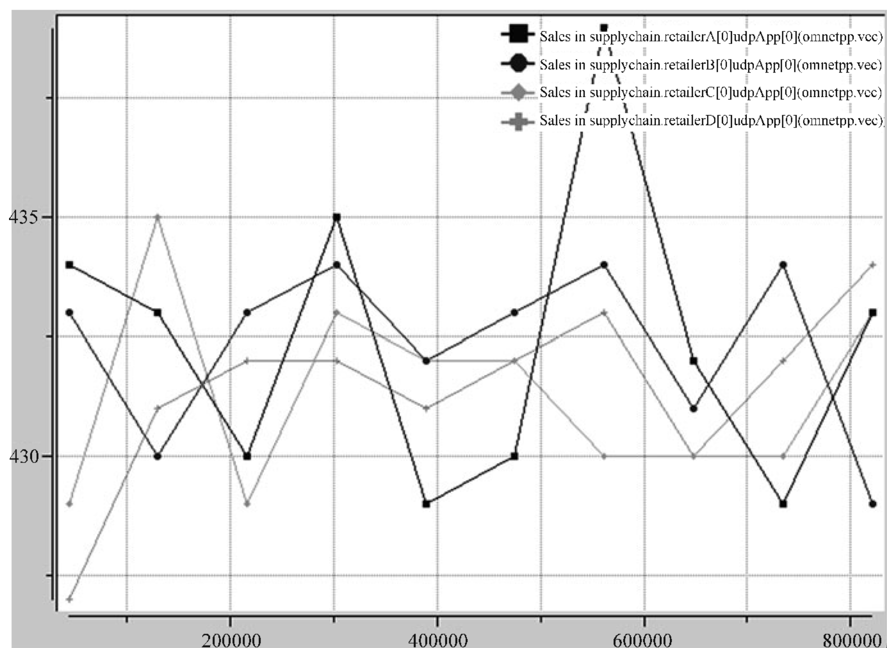



图 10-4　每个零售商的销售量

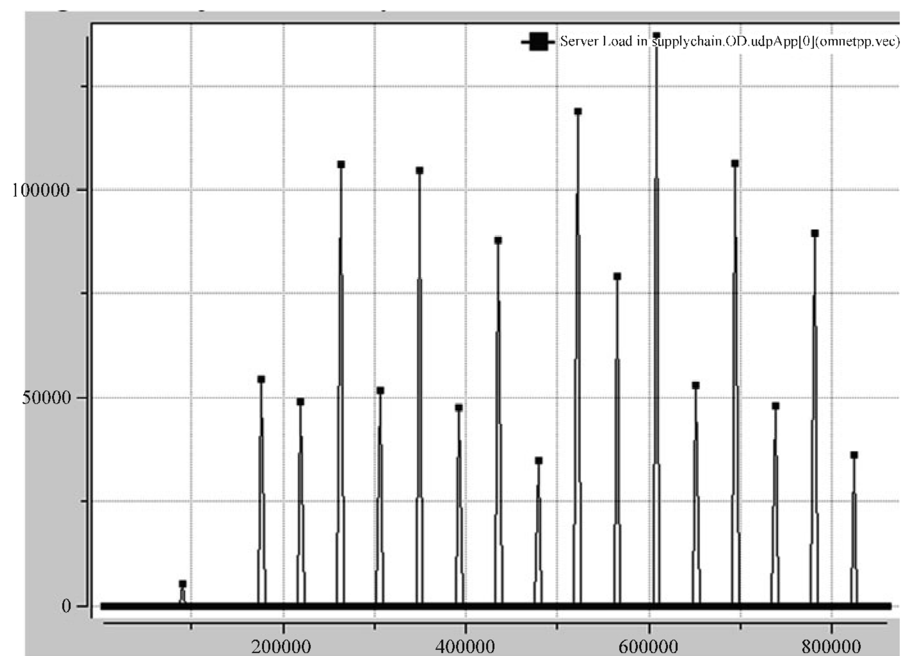



图 10-5　对象目录负荷

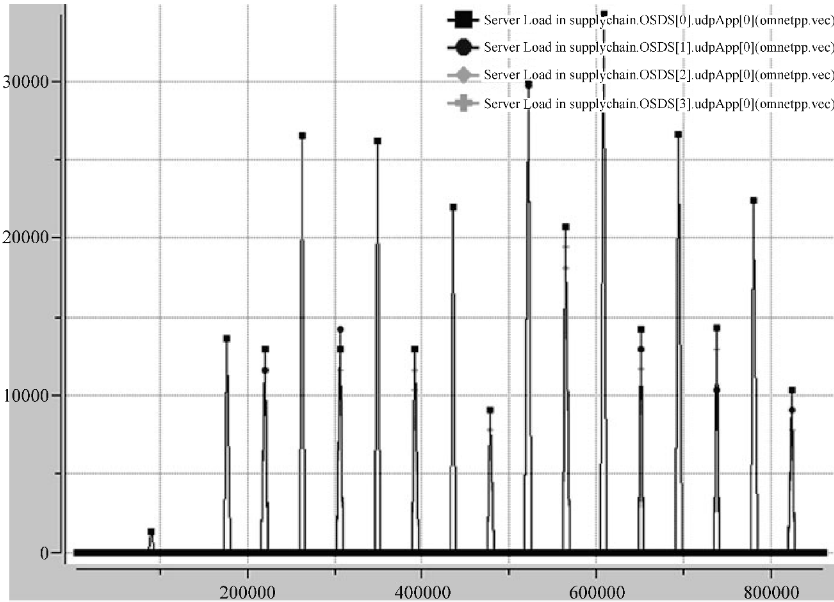



图 10-6　对象服务目录服务器的负荷

**场景 2：12 个零售商店—高销售量—EPC 寻址**

**表 10-4　场景说明**

| 零售商店的数量 | 3 |
|---|---|
| SLS 更新方法 | 单个对象 |
| 供应商的数量 | 20 |
| 售出产品的平均数量 | 860/天 |

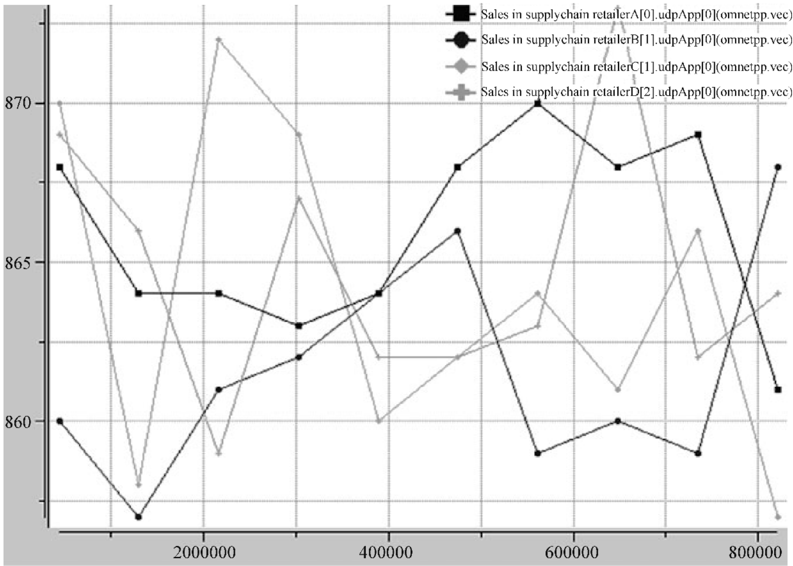



图 10-7　每个零售商的销售量

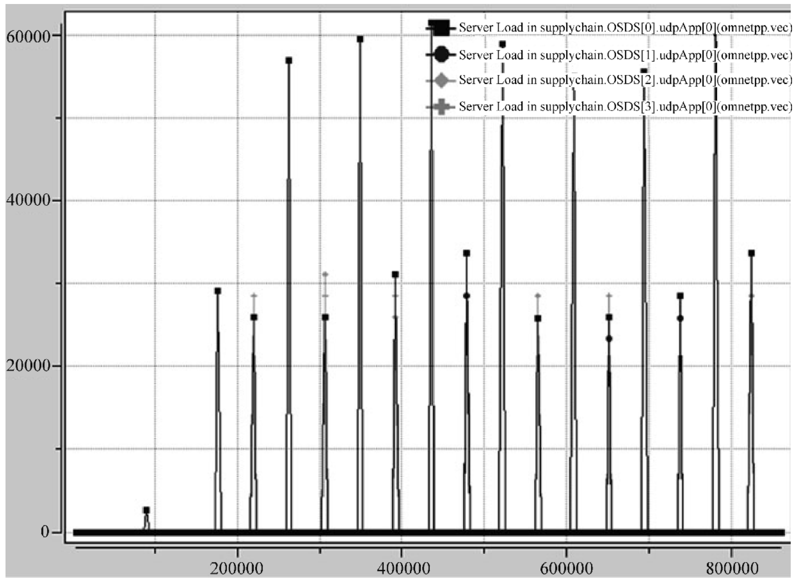


图 10-8　对象服务目录服务器的负荷

**场景 3：12 个零售商店—高销售量—EPC 寻址**

**表 10-5　场景说明**

| 零售商店的数量 | 3 |
|---|---|
| SLS 更新方法 | 大规模更新（1000 件产品） |
| 供应商的数量 | 20 |
| 售出产品的平均数量 | 860/天 |

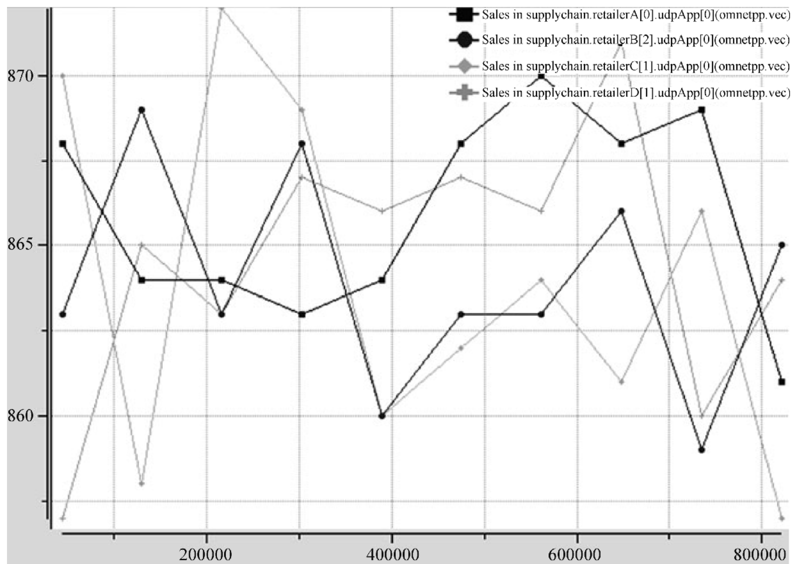


图 10-9　每个零售商的销售量

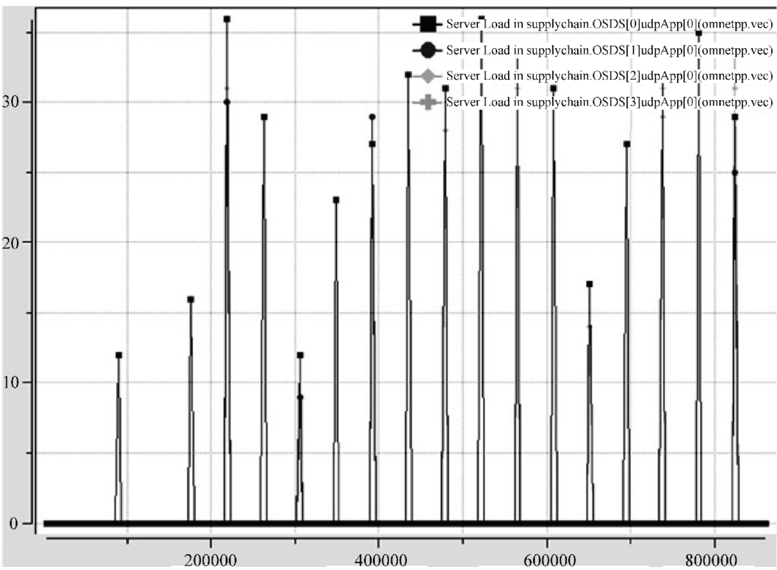



图 10-10 对象服务目录服务器的负荷

## 场景 4：20 个零售商店—低销售量—EPC 寻址

表 10-6 场景说明

| 零售商店的数量 | 5 |
|---|---|
| SLS 更新方法 | 单个对象 |
| 供应商的数量 | 20 |
| 售出产品的平均数量 | 432/天 |

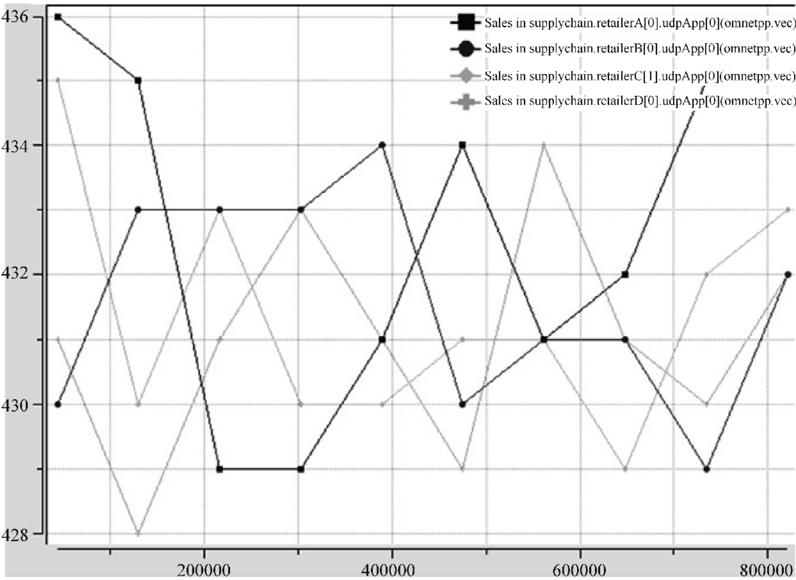



图 10-11 每个零售商的销售量

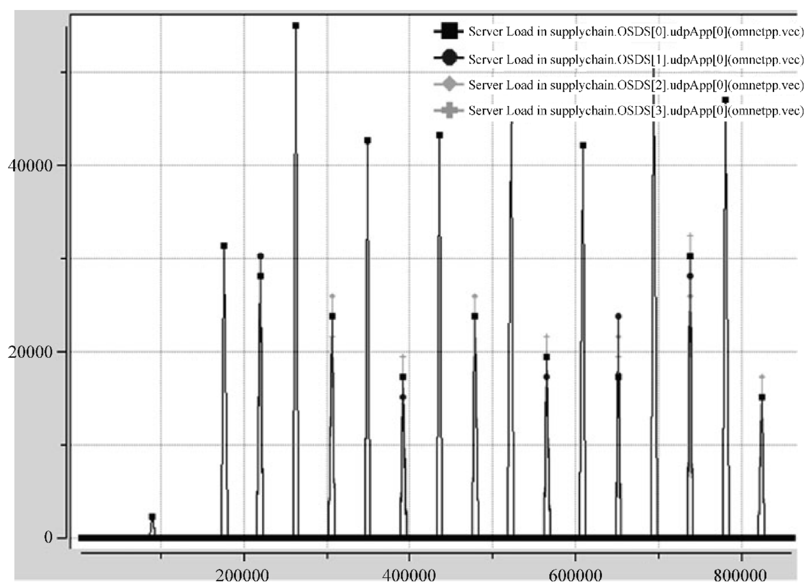



图 10-12　对象服务目录服务器的负荷

**场景 5：20 个零售商店—高销售量—EPC 寻址**

**表 10-7　场景说明**

| 零售商店的数量 | 5 |
|---|---|
| SLS 更新方法 | 单个对象 |
| 供应商的数量 | 20 |
| 售出产品的平均数量 | 860/天 |

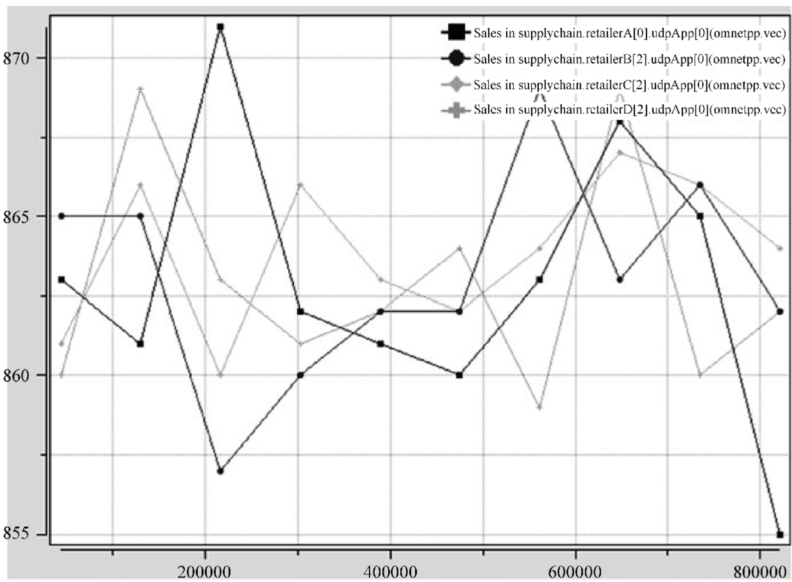



图 10-13　每个零售商的销售量

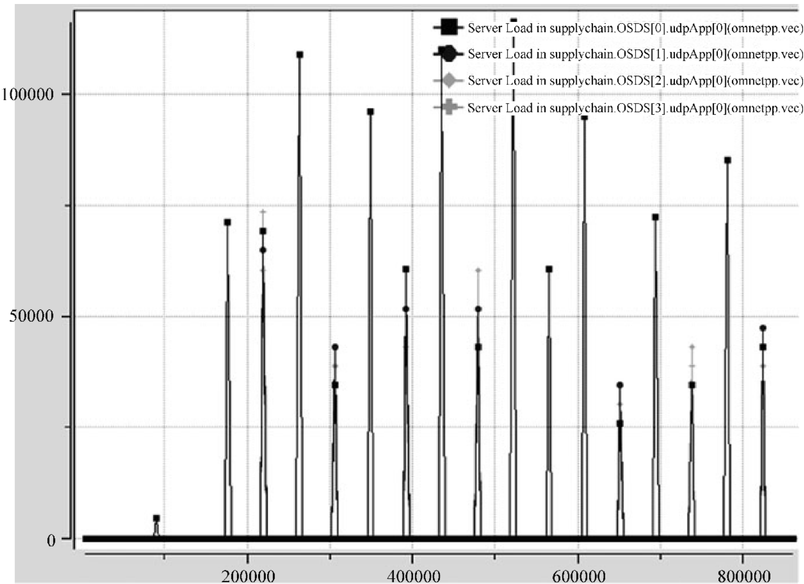



图 10-14　对象服务目录服务器的负荷

## 场景 6：20 个零售商—高销售量—EPC 寻址

**表 10-8　场景说明**

| 零售商店的数量 | 5 |
|---|---|
| SLS 更新方法 | 大规模更新（1000 件产品） |
| 供应商的数量 | 20 |
| 售出产品的平均数量 | 860/天 |

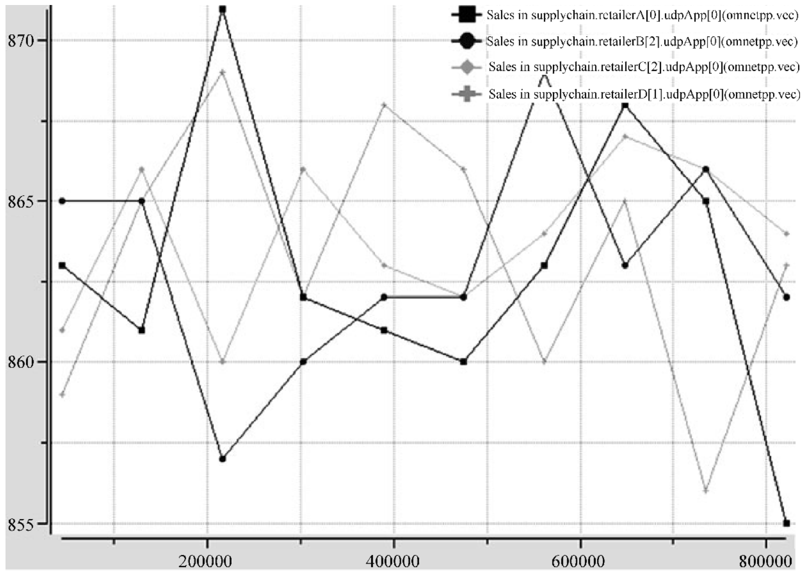



图 10-15　每个零售商的销售量

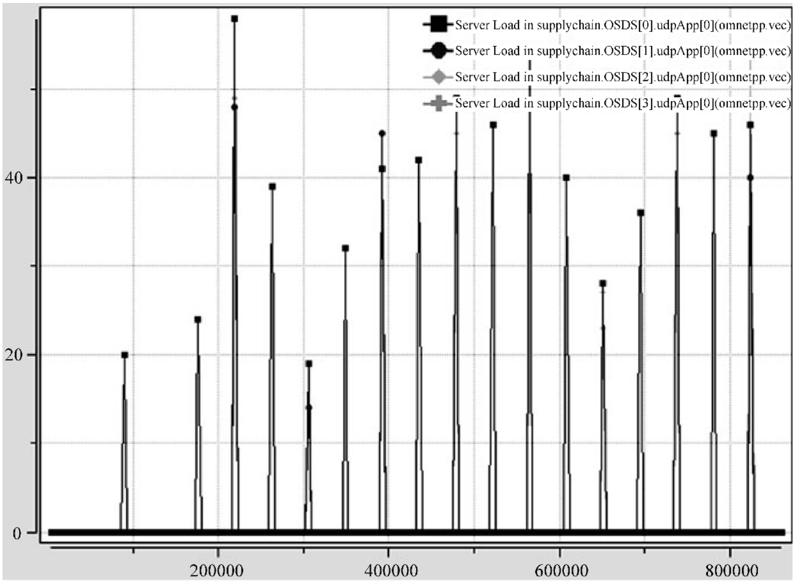



图 10-16　对象服务目录服务器的负荷

**场景 7：12 个零售商店—高销售量—EPC 寻址**

**表 10-9　场景说明**

| 零售商店的数量 | 5 |
|---|---|
| SLS 更新方法 | 大规模更新（1000 件产品） |
| 供应商的数量 | 30 |
| 售出产品的平均数量 | 860/天 |

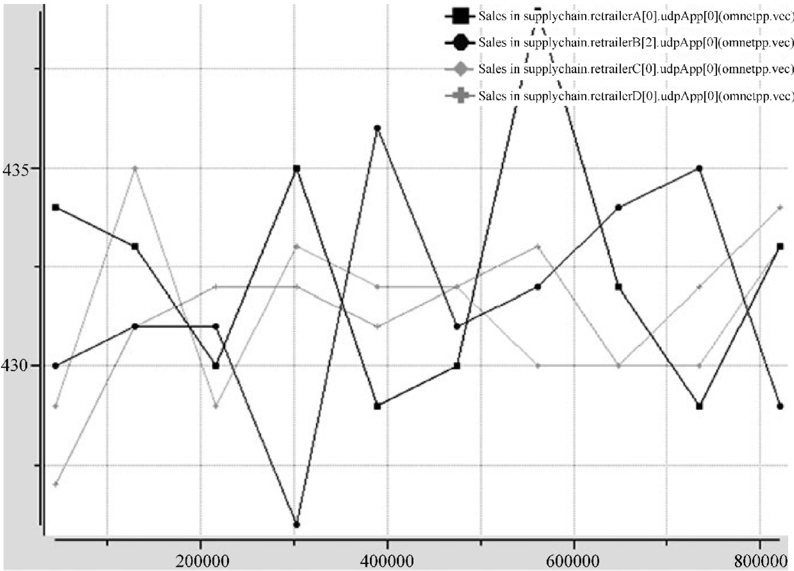



图 10-17　每个零售商的销售量

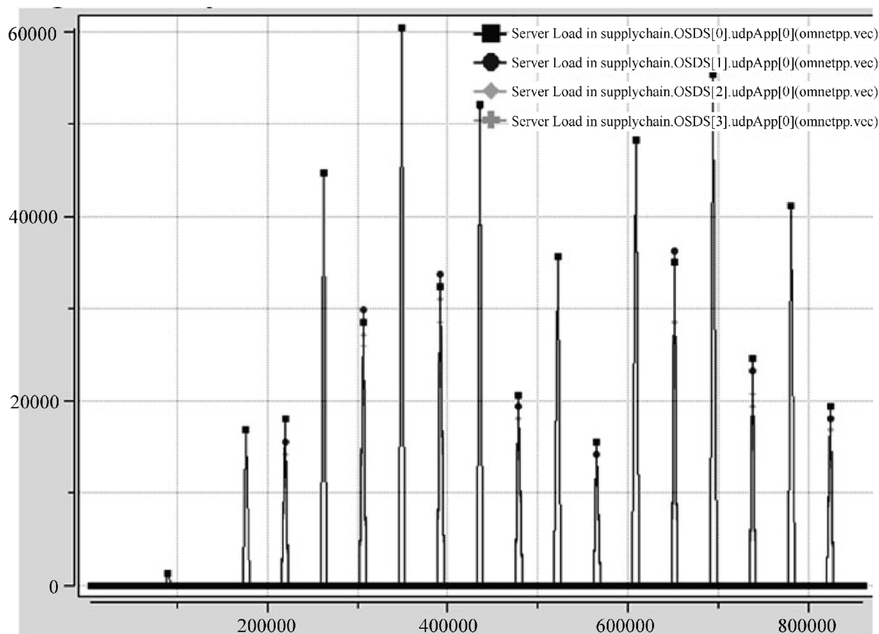



图 10-18 对象服务目录服务器的负荷

# 参考文献

Afilias (2008) How afilias discovery services works, information request on http://www.afilias.info/node/232 Accessed 16 Dec 2008

Beier S, Grandison T, Kailing K, Rantzau R (2006) Discovery services – enabling RFID traceability in PCglobal networks. In: 13th International Conference on Management of Data, Delhi, India, 14–16 December

Bottani E, Rizzi A (2008) Economical assessment of the impact of RFID technology and EPC system on the fast-moving consumer goods supply chain, Int J Prod. Econ 112:548–569

BRIDGE (2009) Bridge Project High Level Design for Discovery Services. IST-2005-033546. http://www.bridge-project.eu. Accessed 24 June 2009

Cho K, Pack S, Kwon† T Choi T (2007) SRMS: SIPbased RFID management System, IEEE International Conference on Pervasive Services, Istanbu, Turkey, 15–20 July, pp 11–18

Decker C, Berchtold M, Chaves LWF, Beigl M, Roehr D, Riedel T, Beuster M, Herzog T, Herzig D (2008) Cost-benefit model for smart items in the supply chain, IOT. Springer, Heidelberg

EPCglobal (2008) EPCglobal Tag Data Standard Version 1.4, June 2008. http://www.epcglobalinc.org/standards Accessed 28 July 2009

EPCglobal (2009a) Object Name Service (ONS), Version 1.0, 20051004. http://www.epcglobalinc.org/standards Accessed 28 July 2009

EPCglobal (2009b). http://www.epcglobalinc.org/standards Accessed 28 July 2009

Evdokimov S, Fabian B, G¨unther O (2008) Multipolarity for the object naming service, IOT. Springer, Heidelberg

Grummt E, Muller M (2008) Fine-Grained Access Control for EPC Information Services, IOT. Springer, Heidelberg

Jin B, Cong L, Zhang L, Zhang Y, Wen Y (2007) Towards an RFID-oriented service discovery system. UIC 2007, LNCS 4611, Springer, Heidelberg, pp 235–245

Kurschner C et al (2008) Discovery service design in the EPCglobal network towards full supply chain visibility, IOT. Springer, Heidelberg

Meloan S (2003) Toward a global "Internet of things", Sun Microsystem White Paper http://java.sun.com/developer/technicalArticles/Ecommerce/rfid/ Accessed 20 Sep 2009

OASIS (2009) web site. http://www.uddi.org Accessed 28 July 2009

Omnet++ (2008) web site. http://omnetpp.org/publications. Accessed 17 June 2008

OpenSLP (2009) An Introduction to the Service Location Protocol (SLP). http://www.openslp.org/doc/html/IntroductionToSLP/index.html. Accessed 24 June 2009

Polytarchos E, Leontiadis N, Eliakis S, Pramatari K (2008) A lookup service in an Inter-connected world of uniquely identified objects. 13th IEEE international conference on emerging technologies and factory automation, Hamburg, Germany, 15–18 September

Quack T, Bay H, Van Gool L (2008) Object recognition for the Internet of things, IOT. Springer, Heidelberg

Rellermeyer JS et al (2008) The software fabric for the internet of things, IOT. Springer, Heidelberg

University of Cambridge, AT4 wireless, BT Research, SAP Research (2007) High level design for discovery services. University of Cambridge, Cambridge

# 第 11 章　RFID 增强的泛在知识库：架构和途径

Michele Ruta，Eugenio Di Sciascio，Floriano Scioscia

**摘要**：与经典范例相比，在普适计算中，用户需要同时与多个微器件（例如，“集成”在环境中的 RFID 标签）交互，并从这些器件中获得相应的数据。当前基于集中控制和信息存储技术的方法是不切实际的，因此，本章定义了泛在知识库（ubiquitous Knowledge Base，u－KB）作为分布式知识库。无需集中协调，u－KB 的元素在指定环境中的 RFID 标识对象上传播。拟议的框架包括：①组件和 u－KB 的操作规范；②在移动 Ad Hoc 网络（MANET）中，用于分发和发现嵌入在 RFID 标签中的信息的一种分布式应用层协议；③压缩标签数据的同态算法。本章中的大量的模拟测试验证了该方法的可行性。

## 11.1　引言

在普适计算中，信息和计算都被嵌入到给定的场景（即嵌入到日常的物品或者行为）中。在日常活动期间，用户同时与多个微器件进行交互，无需关注交互的细节。由于这些场景的动态性和不可预测性，在实际应用中，集中式的和固定的控制是不可行的。

以 RFID 技术为基础，使用更高可用内存的标签可构建一个协作环境，在这个环境中，即使没有任何后端基础设施，也可以发现、查询和清点自主对象。由于标签或阅读器的基本信息能够在环境进行微扩散，所以合适的分发协议可精确地定位附着在对象上的标签。根据这个设想，可构建一个由标识对象和阅读器构成的检索架构环境，且不需要强制链接外部数据。该方法主要面向物联网并摆脱了基于普通基础设施的 RFID 应用，因为用户只需配备一部私人设备便可执行高级对象发现。

我们将泛在知识库（ubiquitous Knowledge Base，u－KB）定义为一个分布式知识库，无需集中协调，u－KB 中的元素（断言性知识）能够在给定场景中的物品中进行传播。本章提出的架构详述了 u－KB 的元素和操作方法，以及移动 Ad Hoc 网络（MANET）中实现分发和发现嵌入在 RFID 标签内的信息的分布式协议。RFID 阅读器被视为标签的无线电能见度中的“簇头”。当阅读器被放置在采用了 IP 和 UDP 的 IEEE 802.11 网络基础设施的同一区域时，它们能够自动建立阅读器

间的多跳无线通信。

我们使用基于描述逻辑（DL）的本体语言作为资源注释的形式，最初的想法是使用语义 Web 进行资源注释，特别是描述逻辑执行小组（DIG）。DIG 是 OWL－DL 网络本体语言的一种等效。这些语言通过注释元数据，为网络资源的语义丰富、形式化和清楚地描述提供标准。根据物联网的设想，我们用这些语言描述对象和真实世界的现象，并通过语义增强的 RFID 技术将这些描述链接到数字世界。从这个角度而言，由于语义 Web（如 RDF、OWL 和 DIG）中采用的 XML 过于冗余以至于不能进行高效的数据存储和移动性管理，因此需要使用信息压缩技术减少冗余。压缩技术也是微型移动设备（如 RFID 标签或无线传感器）的语义注释信息的记忆和传输的保障。此外，压缩技术也适用于整个普适计算环境，因为通信数据量的减少意味着通信延迟缩短、带宽的高效使用，以及手持设备的功耗的降低等。

本章的主要工作包括：

1）为普适的和缺乏基础设施的环境提供了一种新的知识库（Knowledge Base，KB）框架，使得该环境能够保留事实性知识和术语知识间的差异，并继承经典的 Tell/Ask 机制。

2）对当前的 RFID 协议进行了一些细微的修正以启用语义增强。

3）将压缩算法集成到提出的架构中，并且将贴有 RFID 标签的物品的语义描述存储到该标签中（占用的标签内存少于 2KB）。

4）给出能够描述和激发该方法的一个研究案例，并检验该方法的优势。

本章结构安排如下：11.2 节主要介绍了研究动机和可能的应用场景。11.3 节则对相关的研究工作和架构理论知识进行了概述。理论架构和协议则分别在 11.4 节和 11.5 节进行阐述。11.6 节通过一个研究案例详细介绍了架构的工作过程（包括压缩问题）。11.7 节给出实验结果和评价分析。最后，对本章进行总结。

## 11.2　研究目的

知识表示系统（Knowledge Representation System，KRS）在当前应用中的作用类似于数据库管理系统。两者都被作为中央储存库使用。在中央储存库中插入了明确的领域知识，以便通过推理程序提取隐含知识。因此，在传统的 KRS 中，无论是在本地存储中还是通过高吞吐量的网络链接，知识库都被视为一个即时可用的固定实体。只有当存在大量的计算资源和可靠的基础设施时，该方法才是可行的。

为将 KR（知识表示）工具和技术用于移动和普适计算应用程序，需对 KB 进行必要的设置，它们的特点如下：

1）用户和移动设备的移动性，导致不稳定的连接，并且难以预测资源的有效性。

2）对场景依赖，意味着应用程序必须根据邻近资源的有效性、信息及表征环境和用户，适应它们支持用户任务的方法。

3）移动设备严格的资源约束影响进程、存储、连接带宽和功耗。

因此，由于内在的差异和性能问题，为有线网络设计的基于知识的系统不能简单地直接用于无线网络。

基于普适知识的系统，旨在把语义丰富的且易于访问的信息嵌入到物理世界。这就需要共享词汇，否则，描述的含义不一致将削弱系统间的交互。语义 Web 使用的基于逻辑的语言能够保证这种互操作性。RFID 应用中语义感知方法的优势已被公认。通过引入语义丰富的对象描述和发现功能，将大大提高技术提供的基本服务。

在产品的生命周期方面：生产和质量控制可以利用原材料、零部件和加工流程的精确描述；改进的项目跟踪可提高供应链管理；贸易合作伙伴之间的多因素服务水平协议的检验可以实现自动化。此外，无需引进昂贵的基础设施，销售清点工作也会变得非常容易，并且提供了泛在商务（u－commerce）功能。最后，将知识发现功能整合到家庭和办公应用中，为购买者提供智能的售后服务。另外，在基于相关对象的属性和用途而不仅仅依靠识别码的检索场景中，资产管理能力得到大大提高。

在医疗保健应用中，可对设备、药物和患者进行全面、正规的描述和追踪，不仅要确保适当的治疗方案，而且能在治疗任务中给予决策支持。基础设施的普适性有助于降低医疗费用，并打破在家中治疗和在医院治疗之间的壁垒。

同样地，在博物馆、图书馆和考古遗址方面，基于语义的内容成果可以被本地访问者和互联网的远程用户共享。这时都要用到内部的 RFID 基础设施。

基于知识的方法能够与不适用 RFID 技术的其他监控技术和传感技术相结合。无线语义传感器网络是一种新兴的且具有挑战性的技术。需要使用基于语义感知的数据分发和查询处理来激发先进的解决方案，如环境监控、精准农业、绿色供应链和灾后重建等方面。

## 11.3 相关研究工作

普适计算要求自主移动主机间具有分散和合作的协调能力。因此，泛在知识系统需具有高度的自主能力，以便为特定区域的资源提供透明访问。这就需要开发大量的异构微型设备，例如输送少量有用信息的 RFID 标签或无线传感器。

普适计算的中间件基础设施通常依靠集中节点管理和查询信息。特别是 RFID 技术，目前已实现物理对象与数字世界中“虚拟体”的链接。标签内存储着一个识别码，通过一个网络基础设施，利用该识别码从信息服务器中检索物品的属性。

大容量的 RFID 标签的价格非常高，成为了分布式解决方案的最大障碍。日益增加的 RFID 解决方案需求，将推动未来数年内大容量、低成本的无源 RFID 标签的发展。

De 等人提出了一种用于实时跟踪供应链中移动目标和 B2B 交易管理的普适结构。该结构需要有一个全球性的、永久的 IT 基础设施支持，以便通过互联网实现合作伙伴组织内的 RFID 系统的互连。这些要求使得该方案不适于移动 B2C 和 C2C 应用。

最近更多的研究工作提出将语义增强的 EPCglobal RFID 集成到移动 Ad Hoc 网络中。语义注释可以写入附着在物品对象上的标签中，这样标识物品就拥有了一个语义丰富的产品特征描述。通过这种方式，贴有 RFID 标签的物品以一种独立的方式进行自我描述。不过，知识库的推理还需要一个固定的中央组件。这导致了环境中重要信息的重复：语义注释被同时写入标签和知识库。此外，推理机是一个单点故障。如果能提出一个更分布的方法，上述问题将得到缓解。

在压缩算法方面，无损压缩算法可分为三类：静态算法、半自适应算法和自适应算法。静态压缩算法要么使用固定的统计数据，要么不使用统计数据。半自适应算法的压缩过程分为两个阶段：扫描输入数据以统计数据聚集，再次扫描输入数据进行编码。在自适应算法中，统计数据的计算和动态更新是伴随整个压缩过程的。

Gzip，最流行的压缩工具之一，是 LZ77 自适应算法的改进。

霍夫曼编码和算术编码是两个基本的半自适应压缩技术。前者使用变长编码表（霍夫曼树）对源符号进行编码，该表是通过评估每个源符号出现的概率的方法得到的。而后者是将整个要编码的数据映射到一个位于［0，1］的实数区间中。就算法和工具而言，PQA 压缩技术的压缩比是目前最好的，但是它对计算能力和存储能力的要求远远超出了移动设备的能力。

XML 编码算法特有的设计能够实现更高的压缩比。XMill 是一种高效的模式感知 XML 压缩机。它将 XML 内容分成多个不同的小块，分别对每个小块进行压缩，然后将结果存储在输出文件中（因此 XMill 是非同态的）。XMill 处理中型或大型 XMill 文件的效果比一般的压缩机都要好，而对于小文件（最大约为 20KB），其处理效果并不好。在 DPDT 中，使用部分预测匹配（PPM）编码 XML 文件，部分预测匹配是一种自适应技术。虽然部分预测匹配压缩机的速率比较低，但是其压缩比比 XMill 的高。

XPRESS 采用了逆向算术编码，是一种半自适应算法。此外，类型推理模块检测 XML 属性值的数据类型，然后每种类型（数量、时间等）应用专门的编码方法。实验结果表明，XPRESS 实现了对压缩的 XML 数据的良好查询性能，并且数据更新可以直接在压缩的 XML 中执行。只是压缩比比其他方法都要低。

## 11.4　理论架构

图 11-1 所示为普适环境下的知识分发和发现的架构。u－KB 层为访问嵌入在语义增强的 EPCglobal RFID 标签中的信息提供了通道。在 IEEE 802.11 移动 Ad Hoc 网络中使用 UDP 进行数据交换。未来的识别和传感系统可以通过添加至标准协议中的语义支持微层接口到一般架构中。应用程序可以使用 u－KB 提供的知识，通过基于 DL 的推理开发表征 u－KB 层特征的语义发现协议。这个过程可由本地移动 Ad Hoc 网络中的主机执行，也可以由远程实体通过一个高层接口的网关执行（例如 RPC㊀或 REST㊁类型的网络服务），并将远程方法翻译成 u－KB 层的操作。

本章主要对图 11-1 中的 u－KB 层和 RFID 语义层进行定义和实验，并行研究用于探究推理进程对资源受限的移动设备的适应情况。

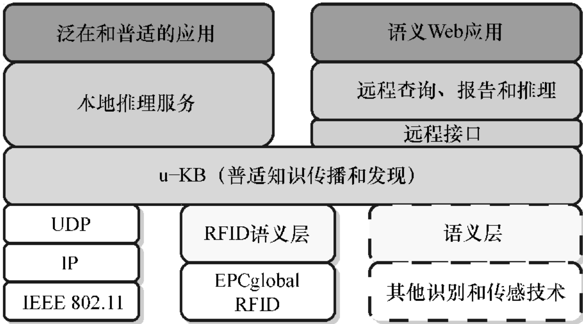



图 11-1　拟议架构

### 11.4.1　知识库组件和操作

下面给出一个特定领域的参考问题，DL 知识库在两个组件上对该问题进行了建模，即

1）TBox（术语集），包含内涵知识，即该域相关的一般知识。TBox 有本体形式（也叫术语），用来描述概念和它们之间的关系。

2）ABox（断言集），包含扩展性知识，ABox 处理特定问题。ABox 由域个体相关的断言集组成。

内涵知识通常是不变的，而扩展性知识通常是有条件的或者依赖于一些事件的设置，因此它总是变化的。

㊀　远程过程调用。
㊁　表述性状态转移。

当前 KRS 的主要特性体现在为应用程序提供的各种功能，而不是系统数据结构和低级操作。于是，KRSs 将功能性从实施过程中分离出来，可更好地预测系统行为以及更方便地使用和集成大中型应用解决方案中的 KRS。KB 管理的两个基本功能：

1）Tell：利用个体相关的明确术语公理和断言，创建 TBox 和 ABox。

2）Ask：提取隐含的知识。通过推理程序判断已知信息是否隐含查询的含义，系统给出查询答案。

这一模式为 KRS 提供了详细且正式的接口规范，如 KRSS 和 DIG。

选择性地删除知识库中的某些信息是可行的。现有的系统可以 Un – Tell（如收回）那些先验信息。经验表明，对大多数的应用程序而言，在初始知识获取阶段后，TBox 几乎不或从不会发生变化。

## 11.4.2　u – KB 组件和规范

我们提出的解决方案保留了 TBox 和 ABox 的差异。

TBox 由本体文档进行表示，如此，TBox 可被一个或多个移动主机所拥有。基于先前的讨论，可以作如下设想：对象注释和 u – KB 部署之前定义的本体在通常的系统活动中几乎不可能发生变化。然而，为提高系统的灵活性，将执行 TBox 管理和对等网络协议中设计的范例和方法，如 BT。也就是说本体文件在单个主机中是完全可用的，或者将其分割成分散在移动 Ad Hoc 网络中的一个或多个片段。需要注意的是，由于不同本体描述的几个对象可共存于同一物理空间，那么多个 u – KB 可以“居住”在一个给定环境中，共享系统的基础设施。本体通用唯一标识（Ontology Universally Unique Identifier，OUUID）可清楚地标记本体，并将每个个体和其对应的参考本体联系起来。

由于 KB 个体被“捆绑”在场景中分散的微型设备中，因此 ABox 被部署在智能场景中。在基于 RFID 的场景中，个体存在于携带语义注释的元数据中。这些数据为对象/产品特征的描述，并存储在 RFID 应答器中。注释是指提供内涵知识的本体。每个个体具有以下特性：

1）一个全球唯一项目标识（如 EPC）。

2）一个 OUUID。

3）一个上下文属性集，可利用该集合中应用程序特有的信息对基于逻辑的推理服务进行扩展（例如，价格是移动电子商务中的一个典型参数，而在移动学习中内容持续时间是非常重要的参数）。

4）语义注释，以基于 DL 的语言 DIG 中的压缩文档片段的形式进行存储。

我们提出的 u – KB 解决方案遵循基本的 Tell/Ask 模式。然而，这些操作以一种新的方式运行，应对普适计算场景的独特特性。接下来详细介绍数据结构和构建 u – KB 系统的协议。

Tell/Un－Tell 操作不对用户开放。换言之，不需要明确的知识声明和撤销。u－KB的创建使用了单个微型器件携带的知识片段以及这些微型器件的本体。借助于多个移动设备的高速缓冲存储器之间的数据对齐协议，u－KB 系统可以自主地和自适应地维护知识库。每个节点广播它在其附近区域（利用 RFID）检测到的个体，其他主机将广播信息存储在缓存中，并向一跳距离内的主机转发该信息。数据对齐协议通过序列号跟踪被广播的个体，解决被标识移动物体进入/离开所处环境的问题，以便自动地广播更新的信息。另外，每个个体的生命周期是有限的，以便从知识库中删除没有进行更新的个体。类似的机制被用于网络中本体块的传播，起到均衡网络的容错性和开销的作用。该系统的目的是保证一个稳定的状态，每个主机能够感知到环境中的本体和个体。为降低对存储容量的要求和网络负荷，广播的内容不包括语义注释。如果需要语义注释，则由 on－demand 替代。

Ask 操作需要一个初始的资源发现步骤。请求者指定本体标识符和需要的属性范围。然后系统返回拥有该本体块的主机 IP 地址和所有符合指定规范的个体。知识库个体的按需供应减少了数据对齐的传输，并防止描述更新或个体删除情形下的传播问题。除此以外，过滤则避免了不必要的数据传输。于是，请求者可以从各自的供应商那里得到本体块和过滤后的个体，以便重建仅包含 TBox 和注释的整个知识库子集。最后，向本地或远程的推理机提交任意 Ask 类型的请求。

## 11.5　架构细节

本节给出了知识库的架构，并对架构中的基础设施以及分发和发现协议进行了详细描述。

### 11.5.1　分层结构的基础设施

Ad Hoc 网络中的节点是移动的，并且移动 Ad Hoc 网络中节点的内容不需要配置。每个节点都可以作为一个请求者/提供者或者是转发邻近主机业务的路由器。

本章提出的知识库架构是一个两层的基础设施，如图 11-2 所示。RFID 被部署在现场层（将现场环境中的标签和阅读器互连）；发现层则实现跨阅读器的 Ad Hoc 通信。现场中的标签和阅读器通过语义增强的 EPCglobal RFID 协议数据交换进行通信。而阅读器之间的数据传播遵循 IEEE 802.11 标准的数据传播范式。利用增强的 RFID 技术，资源将自动暴露出来，同样的方式，数据的初始传播使得阅读器识别范围内的每个簇头都能被找到，因此阅读器可以执行发现过程。需要注意的是，真正的普适环境不一定需要稳定可靠的通信链接。普适环境中的基础设施比较少。因此，在失去了与中央远程服务器的连接时，自主、分散式的物品发现方法应该能保证请求信息的可用性。

因此，资源的发现有以下三个阶段：

1）对象参数的提取（将对象特征从现场层输送至发现层）。

2）数据资源的分发（使所有节点充分感知“网络内容”）。

3）资源注释的提取（将基于语义的描述从现场层输送至发现层），以便于请求匹配。当一条请求以单播的方式被编址到选定的节点时，该阶段是按需执行的。

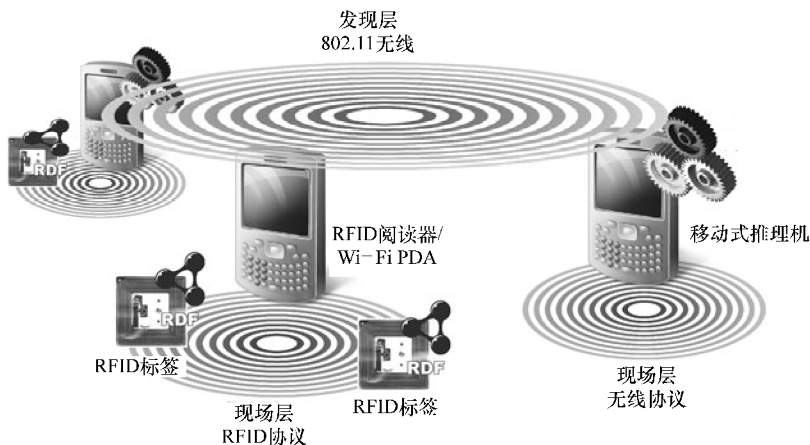



图 11-2　拟议架构中的现场层和发现层

在整个架构中，每个阅读器都起到了核心作用，由于阅读器要在其无线范围（在现场层）内“公告”标签相关的情境参数，并且要（通过发现层的 IEEE 802.11 标准）接收附近节点发送过来的请求。阅读器将从识读范围内的标签中提取语义注释（使用 RFID 空中接口协议，如 EPCglobal 的 Ⅰ 类第 2 代协议），并且响应请求。阅读器的缓存中存储着要进行请求匹配的公告内容。

该方法是完全分散的：阅读器使用由其他阅读器组成的网络中的小型消息自动广播每个资源/标签的地址和主要特征。

使用广播机制广播对象的特征，会导致带宽和功耗的低效。因此，在该方法中，只广播资源参数，以便明确地识别资源/标签的位置和类型。如果某个节点对某类资源特别感兴趣，它将以单播的方式下载与该资源相关的语义注释，减少（广播机制带来的）广播洪泛。

## 11.5.2　语义分发和发现协议

移动 Ad Hoc 网络中的每个资源都以 {SOURCE_ ADDRESS，OUUID，EPC} 的形式进行了标签标识，其中 SOURCE_ ADDRESS 为 RFID 阅读器的 IP 地址，OUUID 代表与资源连接的本体，EPC 则是电子产品代码。

为执行数据分发，资源提供者定期地发送“公告”协议数据单元（Protocol Data Unit，PDU），该 PDU 在规定的跳数（MAX_ REQ_ DIAMETER）内传播。如图 11-3 所示，对于每个被管理的资源，阅读器“公告”参考 OUUID 以及一些情境感知参数（即资源的生存时间（ITL））。早期的做法只选择与适当的上下文属性值相匹配的语义上的注释。

图 11-3　标签的数据分发阶段

在传播过程中，“公告内容”由 MAC 广播转发并被存储在它们经历的节点的缓存中。图 11-4 显示了缓存的组成结构，包含的字段如下：

1）source address：资源提供者的地址。

2）size：注释大小（单位：字节）。

3）OUUID：本体标识符。

4）lifetime：资源或标签的生存时间。

5）timestamp：资源最后一个条目的记录时间，即当存储新资源或已有资源被激活时，则更新该字段。

6）travelled hops：资源提供者和缓存持有者之间的路由距离（跳数）。

7）sequence number：最后一个资源提供者。

8）EPC：资源或标签的电子产品代码。

9）resource description：资源的语义注释。该字段的长度是可变的，但在某些情况下，可能成为压缩 DIG 文件的一个指针。

图 11-4　缓存记录的结构

当节点接收到广播信息或一个缓存内容帧时，都会在缓存表中添加一个条目。如果 PDU 携带的资源的序列号比缓存中存储的序列号长，或者数据包建议的路由比缓存中的路由短，都会更新缓存表中对应的条目。

在开始任意的推理之前，请求者必须适当地重组 TBox。为实现这一目标，开发混合对等共享技术，可避免推理前收集所有的 TBox，而只是收集实际所需的部分 TBox。为了简单起见，这里没有给出详细的推理过程。感兴趣的读者可参考《Semantic matchmaking as non－monotonic reasoning：a description logic approach》。

图 11-5 给出了资源发现的基本过程。开始进行匹配时，节点试图使用存储在自己缓存中的资源描述覆盖请求。如果请求者没有存储的描述，或者如果管理的资源不符合请求，节点将发送具有最大传播直径为（MAX_ REQ_ DIAMETER）的请求，使 PDU 来获得新的资源定位器。

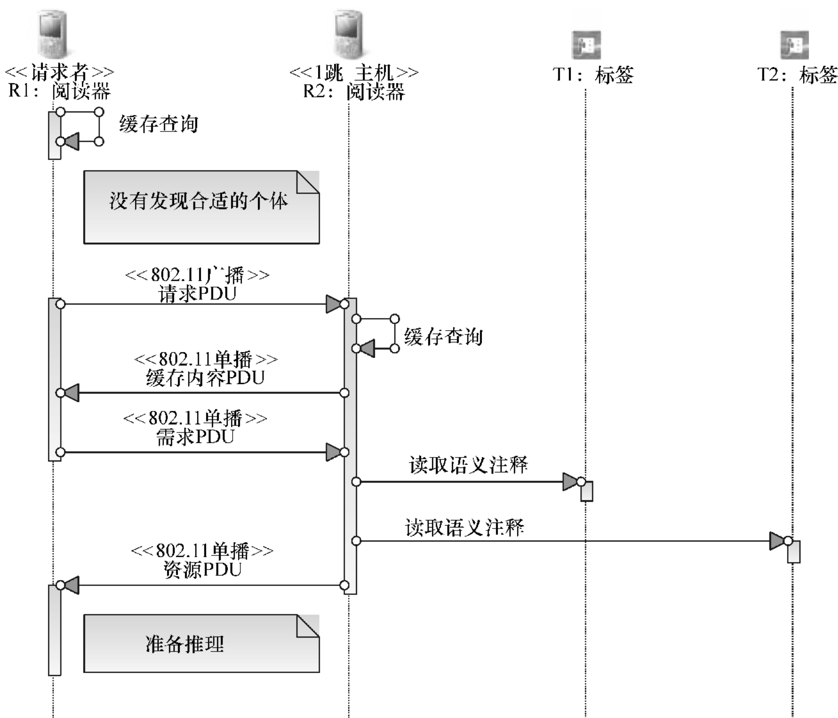



图 11-5　从标签中检索广播的语义注释

节点使用缓存内容 PDU（以单播方式）接收请求回复，提供缓存实体，缓存实体的参数与请求帧中包含的参数相匹配。否则，它将回复一条“匹配失败”的消息。注意，在请求回复的传输过程中，请求回复以及请求 PDU 用来更新前一节点缓冲存储器。

最后，如果出现一些语义注释的丢失现象，可向“拥有”相应资源的节点发送一个单播请求 PDU 的方式找回丢失的信息。“拥有”相应资源的节点将回复一个包含语义的资源 PDU。

请求者在其搜索范围内收到主机发来的请求信息之后，将再次执行匹配过程。如果匹配的结果仍然不能令人满意，节点会尝试通过增大搜索直径的方式转发一个新的请求，并重复先前的步骤逐渐扩大搜索直径，直至扩大到最大直径为止。

## 11.6 案例研究

我们在普适计算环境中对提出的知识库架构进行了专门研究。普适计算环境中的许多对象/产品被赋予 RFID 应答器。RFID 应答器遵循 EPCglobal 标准的Ⅰ类第 2 代 UHF 标签。泛在知识库由使用 IEEE 802.11 无线连接的移动式 RFID 阅读器进行创建和管理。被标识对象就是我们架构系统中的知识库个体。

Ruta 等人提出的 EPCglobal 标准的增强重现在我们对 u－KB 的定义中，如上所述。接下来，我们对语义增强的 RFID 协议的主要特征进行回顾，并概述了 RFID 技术和提出的架构之间的交互。

### 11.6.1 基于 RFID 的泛在知识库

从逻辑上来说，一个电子标签内存分为以下四个存储体：

1）保留内存：存储可选的灭活口令和访问口令。

2）EPC 存储器。

3）标签识别码（TID）存储器：用于存储标签生产厂商的 TID 和产品类识别码。

4）用户存储器：提供应用程序数据。

TID 存储器的内容达到 $1F_h$ 位就不再变化。标签类识别码 $E2_h$ 存储在 TID 存储器的第一个字节，可选信息可以存储在从 $20_h$ 存储地址开始的附加 TID 存储器中。

1）可选协议特征的长度是 16bit，其起始存储地址为 $20_h$，优先存储最高有效位：目前只有最高有效位用于指示标签的语义为激活状态，其他位作为备用。

2）本体的 OUUID，被标签内语义注释引用。

最后，上下文属性和 DIG 语言表达的语义注释对象描述都存储在用户存储库中。由于 DIG 语言过于冗长，且压缩格式的语义也支持直接查询，因此可使用一些特定的编码算法压缩语义。

EPCglobal UHF RFID 空中接口协议包括以下三个步骤：

1）阅读器使用 select 指令进行预选。

2）库存循环，阅读器检测识别范围内的重复标签并读取这些标签的 EPC。

3）访问标签存储器中的内容。

我们提出的知识库方法在保留了后向兼容性的同时，对原来的指令重新进行了开发。select 指令用来预选具有语义功能的标签；采用标准方式来执行库存步骤。访问步骤中的 read 和 write 指令用来提取和更新 OUUID、上下文属性和标识对象的语义注释。

## 11.6.2　与 EPCglobal RFID 架构的交互

### 11.6.2.1　分发

每个宣告周期 DEFAULT_ RTIME 后，阅读器扫描其识别范围内的 RFID 标签。只有具有语义功能的标签可通过 select 指令被预选出来。select 指令的参数见表 11-1。

三元组（MemBank，Pointer，Length）可识别出 EPC 存储库 $20_h$ 存储地址的比特位，然后将识别出的比特位与掩码 Mask 的值 $1_2$ 进行比较。

**表 11-1　仅检测语义功能的标签的 select 指令**

| 参数 | 值 | 描述 |
|---|---|---|
| Target | $100_2$ | SL 标志 |
| Action | $000_2$ | 如果成功检测比特位，则设置目标标志；否则，重新设置 |
| MemBank | $10_2$ | TID 存储器 |
| Pointer | $00100000_2$ | 起始地址 |
| Length | $00000001_2$ | 需要进行比较的比特位个数 |
| Mask | $1_2$ | 位掩码 |

由于语义功能的标签由 bit 位集合识别，因此 Target 和 Action 参数只会影响它们的 SL 标签状态标志位，并清除其他 SL 标签状态标志位。

库存步骤跳过那些 SL 标志位被清除了的标签。然后，单独扫描每个基于语义的标签的 EPC 代码，并更新相应缓存表条目的 TTL。

如果阅读器发现一个新的 EPC 代码不在缓存中，那么该阅读器会读取该代码对象的 OUUID 和上下文属性，来开发两条 read 指令（分别见表 11-2 和表 11-3[㊀]）。

**表 11-2　从 TID 存储库中提取 OUUID 的 read 指令**

| 参数 | 值 | 描述 |
|---|---|---|
| MemBank | $10_2$ | TID 存储器 |
| WordPtr | $00000011_2$ | 起始地址（第 4 个存储字） |
| WordCount | $00000010_2$ | 读取 2 个字（32 位） |

㊀　通过 read 指令可读取电子标签存储器中的一个或更多的 16bit 的存储字。MemBank 参数用于识别电子标签存储器（如同 select 指令）。WordPtr 和 WordCount 参数分别表示起始地址和要读取的存储字个数，如果 WordCount 为 0，则所有的存储字都将被读取直至选定的存储器的末端。

表 11-3 从用户存储库中提取上下文属性的 read 指令

| 参数 | 值 | 描述 |
|---|---|---|
| MemBank | $11_2$ | 用户存储器 |
| WordPtr | $00000000_2$ | 起始地址（第 4 个存储字） |
| WordCount | $00001000_2$ | 读取 8 个字（16 个字节） |

从 RFID 标签中获取的数据将被存放在一个具有新序列号的新缓存条目中。如果没有检测到缓存表现有本地条目中的 EPC 代码，在删除该条目前，阅读器将等待 TTL 以终止该条目。这就避免了“RFID 事件闪烁”㊀引起的 u－KB 个体的误删或误添加。在循环的最后，更新缓存表，阅读器分发一条广播 PDU，以便将个体信息通知给邻近主机。

#### 11.6.2.2 发现

当阅读器接收到请求 PDU 时，它将只启动对语义功能的标签的扫描。在库存阶段，对于每个在 PDU 有效负荷中检测到的 EPC，阅读器通 read 指令（见表 11-4）读取标签的用户存储器中存储的压缩语义注释。最后，标签回复请求者。

表 11-4 从用户存储器中提取压缩语义注释的 read 指令

| 参数 | 值 | 描述 |
|---|---|---|
| MemBank | $11_2$ | 用户存储器 |
| WordPtr | $00000000_2$ | 起始地址 |
| WordCount | $00000000_2$ | 读到最后 |

除了前面描述的缓存表外，为减少 RFID 访问，阅读器还可以有一个可选缓存，用来存储近期使用的语义注释。这样可以降低响应延迟并延长电池使用寿命。

#### 11.6.2.3 RFID 数据局部性

通常情况下，只有当用户和标识物品处于同一环境中时，一个特定 RFID 标签的内容才会与用户相关。例如，在一个大型的购物中心，购买者可能对其当前所在区域的商品感兴趣，本章提出的数据分发协议利用数据局部性这一特性，将广播信息传送至距离信息发布者（假设它在物理位置上非常靠近 RFID 应答器）最大跳数以内的阅读器。根据特定的应用要求，对运行参数的值进行修改以平衡网络负荷与 u－KB 的物理距离。在前面的购物案例中，可由货架上放置的基于 IEEE 802.11 的 RFID 阅读器在每个商品区建立不同的普适知识库。相隔较远的两个商品区不能共享信息。然而，每个商品区都需要一个网关节点，本地 u－KB 系统通过该节点与后端仓库信息系统进行交互。

㊀ 由于存在碰撞，可能导致无法在每一次的连续扫描中检测到某个电子标签。这种现象可以触发乱真出－入对。

### 11.6.3　语义注释的编码

尽管 RFID 标签集成的存储器的内存不断增加（现在，内存容量至少为 4KB 的 RFID 标签已被广泛使用），对于我们的方案而言，语义注释的压缩仍是一个技术性难题。语义 Web 采用的基于 XML 的语言太过冗长，不能在移动的环境中高效地管理数据。因此，为了能够合理地存储和传输微型器件（如 RFID 标签）中的注释，压缩技术是必不可少的。另外，采用压缩技术可降低响应延迟、有效利用带宽和提高电源性能。

评估压缩技术的性能，除压缩比和需要处理/存储的资源外，还必须考虑对压缩数据的查询效率。最近许多研究工作都是围绕压缩机制展开的，寻求能够直接查询编码注释的 XML 文件压缩方法，该方法可以省去查询评估前的解码工作。为了实现这个目标，我们设计了一种基于 XML 语言的语义注释的压缩方法，该方法支持对压缩数据的直接查询。反向算术编码（RAE）、半自适应压缩方法和同态技术也是实现这种目的的压缩方法。半自适应压缩算法首先要扫描一次输入的数据以便收集统计资料，然后再对收集的数据资料进行压缩。同态压缩算法保存了 XML 数据的结构。而使用了非同态压缩算法进行压缩后的文档结构是不可识别的。同态压缩的特点是避免了满足给定查询条件的文档碎片检测前的还原操作。这种方法通过 COX 和 DECOX 工具实现，这两种工具可用于 RDF、DIG 和 OWL 格式的文档。

COX 能够区分数据结构和数据（尤其是 XML 数据结构的标签和属性）。它采用了两种不同的压缩方法。两种技术都要求进行两级处理。首先，解析 XML 文档和收集统计资料。然后，执行压缩处理和输出文档。

#### 11.6.3.1　第一步

DIG 和 OWL 语言只包含标签（tag）、属性（attribute）和属性值（attribute value）（不包括其他语法元素，如注解和处理指令）。COX 以同样的方式处理标签和属性名，COX 通过在名称前面添加一个前缀“@”的方式将标签与属性名区别开来。因此，从本节开始，“tag”将会有两种含义，即标签和属性。

以下给出了一个简短的 DIG 文件实例，使用食品领域的参考本体描述冷冻牛奶的配送过程。

```
<tells xmlns="http://dl.kr.org/dig/2003/02/lang">
<defindividual name="milk_delivery_M2"/>
  <instanceof>
     <individual name="milk_delivery_M2"/>
     <and>
       <catom name="cow_milk"/>
       <all>
         <ratom name="processed_with"/>
```

```
        <catom name="refrigeration"/>
      </all>
    </and>
  </instanceof>
</tells>
```

编码的第一步是在存储器中解析文件并创建句法树，如图 11-6 所示。

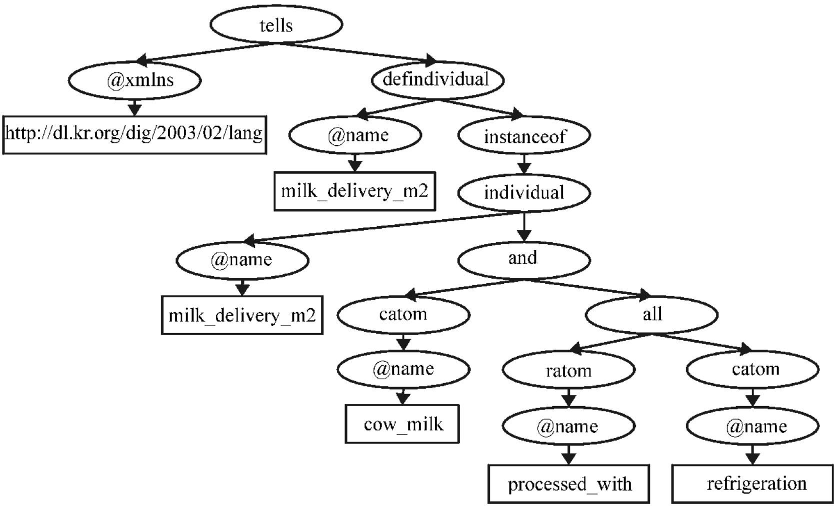



图 11-6　DIG 文件的 COX 树模型

文档被解析完毕后，利用算术编码机制计算某个标签出现的次数与所有文档标签出现的总次数的比值，作为该标签的调整频率。然后，将间隔 $[d, D) = [1.0+2^{-7}, 2.0-2^{-15})$ 划分为多个离散的子区间（每个子区间分别对应一个标签），即

$$a_i = kf_i + \frac{1-k}{n}$$

式中，$a_i$ 是第 $i$ 个子区间的长度；$f_i$ 是第 $i$ 个标签的调整频率；$n$ 代表不同标签的数量。权重 $k$ 的定义为

$$k = 1 - \sqrt{\sigma}$$

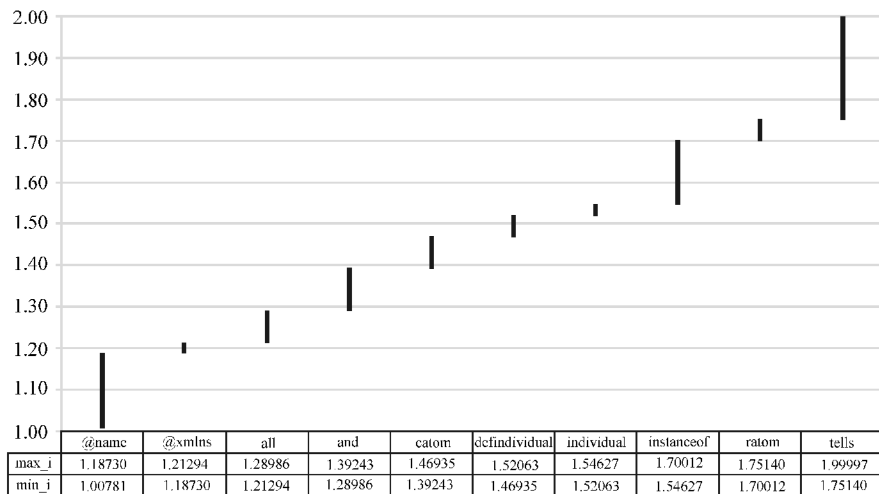
式中，$\sigma$ 是所有文件标签绝对频率的标准差。这个公式为两个分量的线性组合：第一个分量与标签的频率成比例，第二个分量对所有的标签而言是固定不变的。如果文档中标签的概率分布是规则的分布（$\sigma \to 0$ 和 $k \to 1$），则比例项占主导地位。反过来，对于无规则的概率分布（通常情况，标签的分布是无规则的），$\sigma$ 增加且 $k$ 下降，因此公式的第二个分量将增加，甚至稀有标签都得到一个不太小的子区间。这样便避免了解压超低频（大约为 $10^{-4}$ 或者更低）标签时错误的出现。

分配给每个标签的子区间的最小值为

$$min_{i+1} = min_i + a_i(D - d)i = 1, \cdots, n - 1$$

式中，$n$ 为标签的总数量且 $min_1 = d$。因此，开始标签的值落在区间［$d$，D）中。

在冷冻牛奶配送实例的文档中，子区间的取值范围见图 11-7。




| | @name | @xmlns | all | and | catom | defindividual | individual | instanceof | ratom | tells |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| max_i | 1.18730 | 1.21294 | 1.28986 | 1.39243 | 1.46935 | 1.52063 | 1.54627 | 1.70012 | 1.75140 | 1.99997 |
| min_i | 1.00781 | 1.18730 | 1.21294 | 1.28986 | 1.39243 | 1.46935 | 1.52063 | 1.54627 | 1.70012 | 1.75140 |

图 11-7　标签的子区间取值范围

区间［1.0，$d$）为编码结尾标签的保留区间。可以验证，每一个可能的值都严格落在 1.0 与 2.0 之间。采用 32 位的浮点数表示，第一个字节总是 $01111111_2$，因此可以将其截断，且不会丢失信息。

总结第一步，就是在输出文档的前面写入一个包含了记录序列的报头。序列的组成为：一个字节的标签名称和标签名称长度；三个字节（截断之后）的标签子区间最小值。

属性值被解释为 ASCII 字符串；重复出现的字使用 16 位的序列定义和编码。其频率的统计资料收集和文件结构的分析是同时进行的。由于采用了简单的代码替换，还可使用同态编码方法进行编码。

虽然使用重复的位元素可减小本体文档，但对于短文档来说，报头的使用会降低压缩性能。因此，采用启发式规则：只对那些在长度阈值和频率阈值之上的属性进行编码。因此创建了一个包含每个属性字符串及其相关代码之间的对应关系的报头。

#### 11.6.3.2　第二步

第二步将输出文档的主体。在这一步中，将对开始标签和结尾标签、属性和属性值进行编码，编码顺序与它们在输入文件中出现的顺序一致。使用 RAE 对开始

标签 $T$（或者一个属性的开始）进行编码。使用下面给出的算法对路径中的标签或标签序列进行编码。算法如下：

输入：标签 $T$，即编码对象；*subint*——分配给标签的子区间的关联数组。

输出：$n \in [d, D)$，对从 $T$ 到根节点（根标签）的编码路径进行编码的实际数值。

1. *min*, *max*) := *subint*[*T*]
2. **while** has_parent_tag(*T*)
3. $\quad$ *T* := get_parent_tag(*T*)$
4. $\quad$ (*begin*, *end*) :=*subint*[*T*]$
5. $\quad$ *min* := *min* + (*max* − *min*) ∗ *begin*
6. $\quad$ *max* := *min* + (*max* − *min*) ∗ *end*
7. **end while**
8. *n* := *min*

基本上，标签路径（从 $T$ 到根节点）的区间是根据第一步中分配的子区间大小，逐渐缩小起始区间的方式计算得来的。这样，最终数字区间中的每个值都清楚地标识了从 $T$ 到根节点的标签序列。给定一个输出值的 32 位浮点数表示，只需取出中间的两个字节便完成了对标签的编码。除了第一个字节（固定不变）外，最后一个字节（最低有效尾数字节）被截断以便节省空间。我们已经证实，在解码阶段准确度的下降不会影响一个正确标签的重建。

针对前面提及的 DIG 文件摘要，图 11-8 阐述了压缩算法的执行过程，并给出了压缩过程及计算每个文档相关的区间的过程。同时给出了 defindividual 标签下的 name 属性的处理过程（见文档的第二行）。从叶节点到根节点的路径建立过程为@ name – defindividual – tells。然后算法执行循环：首先，在步骤（a）中，得到@ name 的子区间（见图 11-7）。在步骤（b）中，由步骤（a）得到的间隔按照 defindividual 的子区间关于基本区间［$d$，$D$）按比例缩小。同样地，在步骤（c）中，由步骤（b）得到的间隔按照 tells 的子区间（见图 11-7）关于基本区间［$d$，$D$）按比例缩小。一旦到达了文档的根节点，停止循环：明确标识上述路径的数值区间为［1.09897，1.10126）。最终选取区间下界对该路径进行编码。

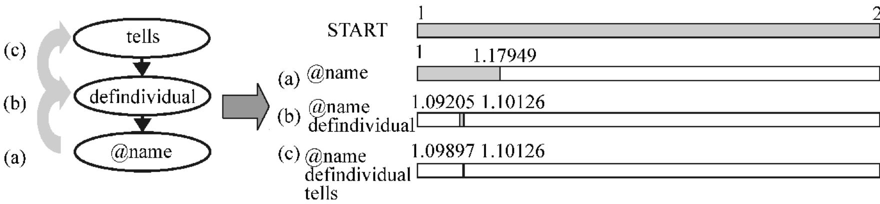



图 11-8 编码过程示例

结尾标签或者属性的结尾分别用两个 32 位的浮点数 1.0070 和 1.00444 进行编码，因为字节的截断并不会影响编码的准确度。

最后，按照如下方式处理属性值 attribute value：如果属性值在第一步中就已经进行了编码，该属性值将被它的一个字节的分界符 $fe_h$ 取代；否则，复制 ASCII 字符串到紧接分界符 $ff_h$ 的输出文件。

## 11.7　试验

Di Noia 等人对语义增强标签的阅读和写入时间进行了初步测试，旨在评估 EPCglobal 协议演变对 RFID 系统性能产生的影响。测试表明相比一般的注释 RFID 应用，对 RFID 标签采用压缩语义资源注释不会影响基于语义的 RFID 应用。

此外，我们利用 ns-2 网络仿真器验证和测试了 u-KB 的总体架构，对以下指标进行了性能评估。

（1）网络负荷：利用发现层生成的数据包的数量来评估该指标。结果表明，资源提供者的数量对网络流量的影响更大，而不是请求者（客户端）的数量。这是因为在没有请求者的情况下，提供者也能够主动且规律地传送广播帧。另一方面，请求、缓存内容和请求数据包是由客户端主机及其邻近主机按需产生的。

（2）命中率：即各种场景中成功的资源检索的百分比。在所有测试中，平均命中率高达 90%。其中，超过一半的测试的命中率达到了 95%，验证了 u-KB 的总体架构的有效性。

（3）服务发现的持续时间：资源提供者数量一定的情况下，服务时间随请求者的增加而降低。这是因为当缓存内容 PDU 对请求 PDU 进行响应时，由中间节点缓存相关的资源记录，这就降低了对后面请求的响应时间。对于普适场景的典型需求而言，发现服务的持续时间整体偏高。这个结果的产生，可能是由于目前的实施方法没有对执行速度进行具体的优化而导致的。

我们进行的第二个实验对比本章提出的 COX 工具与以下压缩工具和方法，评价不同的语义注释压缩方法。① gzip[㊀]，广泛采用的多用途压缩机；② XMill，特定的 XML 压缩工具；③ DIGC 压缩机，它的压缩比和执行速率是最优的。

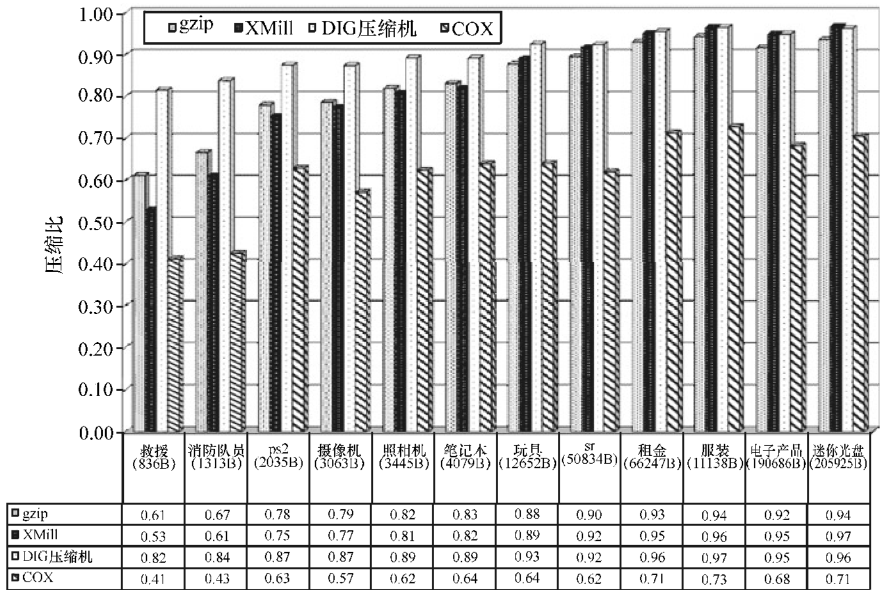
通过性能比较对以下三个基本指标进行了估计：① 压缩比：定义为 $1-\frac{\text{压缩文件的大小}}{\text{未压缩文件的大小}}$；② 周转时间：压缩过程的持续时间；③ 内存占用率：反映了压缩软件运行时占用内存的大小。

以上测试都在一台便携式笔记本电脑上完成的。笔记本电脑的配置为 Intel

㊀ gzip 压缩用途：http://www.gzip.org/。

P8400 Core 2 Duo CPU（2.27 GHz 时钟频率）、3GB RAM at 800 MHz 和 Ubuntu 9.04 GNU/Linux 操作系统（2.6.27 kernel 版本）和 Valgrind 3.4.1 分析工具箱。为了得到完整的性能图，测试了 12 个不同大小的 DIG 文件，其中包含 6 个个体对象/产品的语义注释和 6 个领域本体，这些文档都比较长。

图 11-9 给出了不同压缩工具分别压缩 12 个文件时的压缩比。图中给出了每个 DIG 文件的原始大小。COX 和 DIG 压缩工具的压缩比分别是最差和最佳的。为保证通用压缩支持对编码格式的直接查询，COX 的压缩将存在一定程度的降低。



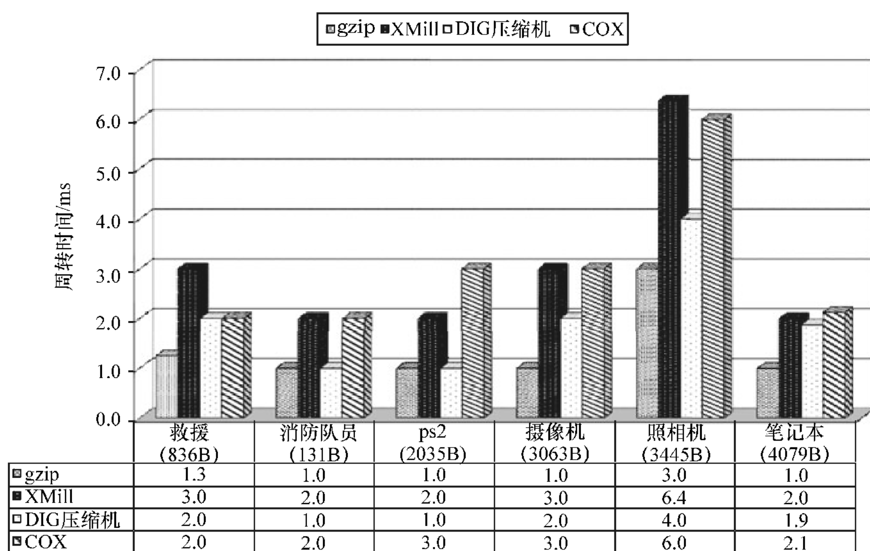

| | 救援 (836B) | 消防队员 (1313B) | ps2 (2035B) | 摄像机 (3063B) | 照相机 (3445B) | 笔记本 (4079B) | 玩具 (12652B) | sr (50834B) | 租金 (66247B) | 服装 (11138B) | 电子产品 (190686B) | 迷你光盘 (205925B) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| gzip | 0.61 | 0.67 | 0.78 | 0.79 | 0.82 | 0.83 | 0.88 | 0.90 | 0.93 | 0.94 | 0.92 | 0.94 |
| XMill | 0.53 | 0.61 | 0.75 | 0.77 | 0.81 | 0.82 | 0.89 | 0.92 | 0.95 | 0.96 | 0.95 | 0.97 |
| DIG压缩机 | 0.82 | 0.84 | 0.87 | 0.87 | 0.89 | 0.89 | 0.93 | 0.92 | 0.96 | 0.97 | 0.95 | 0.96 |
| COX | 0.41 | 0.43 | 0.63 | 0.57 | 0.62 | 0.64 | 0.64 | 0.62 | 0.71 | 0.73 | 0.68 | 0.71 |

图 11-9　性能比较——压缩比

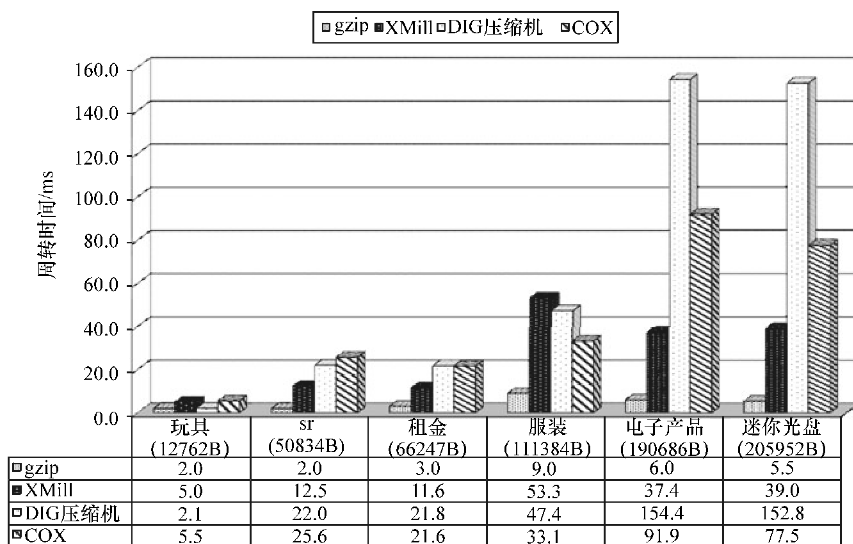
对于周转时间的测试，每个测试都连续运行十次，并把最后八次的运行时间的平均值作为周转时间，见图 11-10a。其中，gzip 的周转时间最短。XMill 和 COX 具有固有的复杂性，但其绝对值仍是可接受的。对于本体文件（见图 11-10b），场景发生了变化。COX 的性能是令人满足的，然而对于大于 100KB 的输入文档而言，DIG 的周转时间将大大地增加。

总之，使用 Valgrind 工具箱里的 Massif 工具可以分析内存占用率。对于内存占用率的对比测试，我们只对各压缩工具的内存峰值进行了对比。

如图 11-11 所示，由于其结构的特殊性，XMill 和 gzip 使用了近似常量的内存数量，而忽略了输入文档的大小。DIG 压缩工具使用了约 300KB 内存存储较小的注释，用 460KB 内存存储较大的本体。COX 更适于小文档的压缩（大约 35KB），但是对于很大的输入文档，COX 的内存峰值则超过了 DIG。

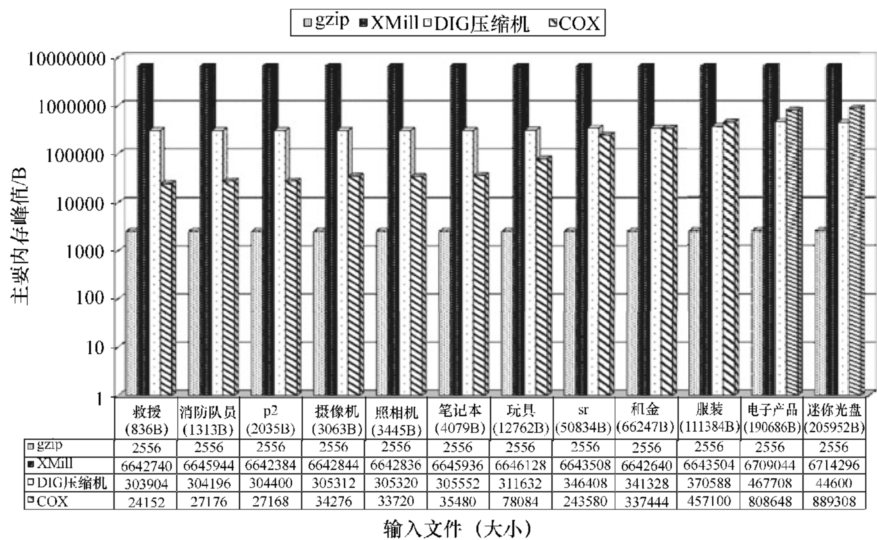



a)实例注释




b)本体

图 11-10　性能比较——周转时间




| | 救援 (836B) | 消防队员 (1313B) | p2 (2035B) | 摄像机 (3063B) | 照相机 (3445B) | 笔记本 (4079B) | 玩具 (12762B) | sr (50834B) | 机金 (66247B) | 服装 (111384B) | 电子产品 (190686B) | 迷你光盘 (205952B) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| gzip | 2556 | 2556 | 2556 | 2556 | 2556 | 2556 | 2556 | 2556 | 2556 | 2556 | 2556 | 2556 |
| XMill | 6642740 | 6645944 | 6642384 | 6642844 | 6642836 | 6645936 | 6646128 | 6643508 | 6642640 | 6643504 | 6709044 | 6714296 |
| DIG压缩机 | 303904 | 304196 | 304400 | 305312 | 305320 | 305552 | 311632 | 346408 | 341328 | 370588 | 467708 | 44600 |
| COX | 24152 | 27176 | 27168 | 34276 | 33720 | 35480 | 78084 | 243580 | 337444 | 457100 | 808648 | 889308 |

图 11-11　性能比较——主要内存峰值

## 11.8　结论

本章提出使用存储在 RFID 标签中的语义元数据进行高级匹配的方法，无需借助于专门的和固定的知识库。知识传播协议支持改进的资源发现框架，因此该框架能够直接从对象上附着的标签中按需检索适当的描述。另外，本章还开发了初步评估资源需求的分析模型，并通过实验验证了所提方法（包括传播、发现及 RFID 数据压缩评估）的可行性。

## 参 考 文 献


Baader F, Calvanese D, Mc Guinness D, Nardi D, Patel-Schneider P (2002) The description logic handbook. Cambridge University Press, Cambridge

Bechhofer S, Möller R, Crowther P (2003) The DIG description logic interface. In: Proceedings of the 16th international workshop on description logics (DL’03). CEUR Workshop Proceedings, vol 81. Rome, Italy

Brachman R, McGuinness D, Patel-Schneider P, Resnick L, Borgida A (1991) Living with CLASSIC: when and how to use a KL-ONE-like language. In: John S (ed.) Principles of Semantic Networks. Morgan Kaufmann, San Fransisco, CA, pp 401–456

Chakraborty D, Joshi A, Yesha Y, Finin T (2006) Toward distributed service discovery in pervasive computing environments. IEEE Trans Mobile Comput 5(2):97–112

Cohen B (2008) The BitTorrent protocol specification, version 11031. http://www.bittorrent.org/beps/bep_0003.html. Accessed 20 November 2009

De P, Basu K, Das S (2004) An ubiquitous architectural framework and protocol for object tracking using RFID tags. In: The 1st annual international conference on mobile and ubiquitous systems,

Networking and Services (MOBIQUITOUS 2004). Cambridge, MA, pp 174–182
Di Noia T, Di Sciascio E, Donini FM (2007) Semantic matchmaking as non-monotonic reasoning: a description logic approach. J Artif Intell Res (JAIR) 29:269–307
Di Noia T, Di Sciascio E, Donini F M, Ruta M, Scioscia F, Tinelli E (2008) Semantic-based bluetooth-RFID interaction for advanced resource discovery in pervasive contexts. Int J Semantic Web Inf Syst 4(1):50–74
EPCglobal Inc (2005) Object naming service (ONS) – version 1.0. EPCglobal Ratified specification
EPCglobal Inc (2008) EPC Radio-frequency identity protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860 MHz-960 MHz Version 1.2.0 EPCglobal Ratified specification
Harrusi S, Averbuch A, Yehudai A (2006) XML syntax conscious compression. In: Data compression conference (DCC 2006). Snowbird, UT, pp 10–19
Howard P, Vitter J (1991) Analysis of arithmetic coding for data compression. In: Data compression conference (DCC'91). Snowbird, UT, pp 3–12
Huffman D (1952) A method for the construction of minimum redundancy codes. In: Proceedings of the Institute of Radio Engineers (IRE) 40(9):1098–1101
IEEE 802.11 (1999) Information technology telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks specific requirements part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. ANSI/IEEE Std. 802.11, ISO/IEC 8802-11. First edn
Levesque H (1984) Foundations of a functional approach to knowledge representation. Artif Intell 23:155–212
Liefke H, Suciu D (2000) Xmill: an efficient compressor for xml data. SIGMOD Rec 29(2):153–164
M Ayoub K, Manoj S, Brahmanandha PR (2009) A survey of RFID tags. Int J Recent Trends Eng 1(4):68–71
Mahoney M (2005) Adaptive weighing of context models for lossless data compression. Technical report, Florida Tech University, Technical Report CS-2005-16
McGuinness DL, van Harmelen F (2004) OWL web ontology language, W3C recommendation. http://www.w3.org/TR/owl-features/. Accessed 20 November 2009
Min J, Park M, Chung C (2007) A compressor for effective archiving, retrieval, and updating of XML documents. ACM Trans Internet Technol (TOIT) 6(3):223–258
Nethercote N, Seward J (2007) Valgrind: a framework for heavyweight dynamic binary instrumentation. In: Proceedings of the 2007 ACM SIGPLAN conference on programming language design and implementation – PLDI 07. ACM Press, New York, NY, USA, pp 89–100
Network Simulator (1995) The network simulator – ns-2. http://www.isi.edu/nsnam/ns/. Accessed 20 November 2009
Ni LM, Zhu Y, Ma J, Li M, Luo Q, Liu Y et al (2005) Semantic sensor net: an extensible framework. Lecture Notes in Computer Science, vol 3619. Springer, Heidelberg, pp 1144–1153
Pallapa G, Das S (2007) Resource discovery in ubiquitous health care. In: 21st international conference on advanced information networking and applications workshops, AINAW'07, vol 2. Niagara Falls, ON
Patel-Schneider P, Swartout B (1993) Description-logic knowledge representation system specification. KRSS group of the ARPA knowledge sharing effort
Ramanathan R, Redi J (2002) A brief overview of ad hoc networks: challenges and directions. IEEE Commun Mag 40:20–22
Römer K, Schoch T, Mattern F, Dübendorfer T (2004) Smart identification frameworks for ubiquitous computing applications. Wireless Netw 10:689–700
Ruta M, Di Noia T, Di Sciascio E, Donini FM (2006) Semantic-enhanced bluetooth discovery protocol for M-commerce applications. Int J Web Grid Serv 2:424–452
Ruta M, Di Noia T, Di Sciascio E, Scioscia F, Piscitelli G (2007) If objects could talk: a novel resource discovery approach for pervasive environments. Int J Internet Protocol Technol (IJIPT), Special Issue on RFID: Technol Appl Trends 2:199–217

Ruta M, Scioscia F, Di Noia T, Di Sciascio E, Piscitelli G (2009) Ubiquitous knowledge-based framework for RFID semantic discovery in smart u-commerce environments. In: Proceedings of the 11th international conference on electronic commerce. ACM, San Diego, CA, pp 9–18

Scioscia F, Ruta M (2009) Building a semantic web of things: issues and perspectives in information compression. Semantic web information management (SWIM′09). In: Proceedings of the 3rd IEEE international conference on semantic computing (ICSC 2009). Berkeley, CA, pp 589–594

Tolani P, Haritsa J (2002) XGRIND: a query-friendly XML compressor. In: Proceedings of the 18th international conference on data engineering (ICDE.02). IEEE, San Jose, CA, pp 225–234

Toninelli A, Corradi A, Montanari R (2008) Semantic-based discovery to support mobile context-aware service access. Computer Communications. Elsevier, Amsterdam

Traub K, Allgair G, Barthel H, Bustein L, Garrett J, et al (2005) EPCglobal architecture framework. EPCglobal Ratified specification

Vasudevan V (2004) Ensembleware: contextual service provisioning in an ubiquitous services world. In: Symposium on Applications and the Internet, Tokyo, Japan, 26–30 January

Vazquez JI, Lopez-de-Ipina D (2007) mRDP: an HTTP-based lightweight semantic discovery protocol. Comput Netw 51(16):4529–4542, Elsevier

Venkataramani G, Iyer P (2007) Semantics-aware RFID middleware for personalized web services to retail customers. In: International workshop on service-oriented engineering and optimization, Goa (India), December 2007

Watson R, Pitt L, Berthon P, Zinkhan G (2002) U-Commerce: expanding the Universe of marketing. J Acad Mark Sci 30:333–347

Weinstein R (2005) RFID: a technical overview and its application to the enterprise. IT Prof 7:27–33

Witten I, Neal R, Cleary J (1987) Arithmetic coding for data compression. Communications of the ACM 30(6):520–540

Ziv J, Lempel A (1977) A universal algorithm for sequential data compression. IEEE Transactions on Information Theory 23(3):337–343

# 第 12 章　RFID 中间件系统：对比分析

Nova Ahmed，Umakishore Ramachandran

**摘要：**近几年，RFID 技术被广泛应用于多个关键领域。由于 RFID 技术成本较低，对于大规模的应用极具吸引力。但实际上，RFID 技术，特别是使用无源标签的 RFID 技术本身是很容易出错的。因此，RFID 技术的大规模部署需要有一个有效的中间件解决方案来及时处理海量的数据，并将请求的信息传送到对应的应用程序。本章讨论了 RFID 中间件技术的发展水平，阐述了 RFID 技术面临的机遇和挑战。

## 12.1　RFID 应用的中间件解决方案

RFID 技术迅速成为了人们日常生活中主要应用的一部分，如智能家居、机场和供应链管理系统等。RFID 的广泛部署，多个信息源处产生越来越多的待处理数据，以便供用户查询。因为 RFID 阅读器经常出错，不同的应用需要一种抽象方法来及时地管理大量的数据流。

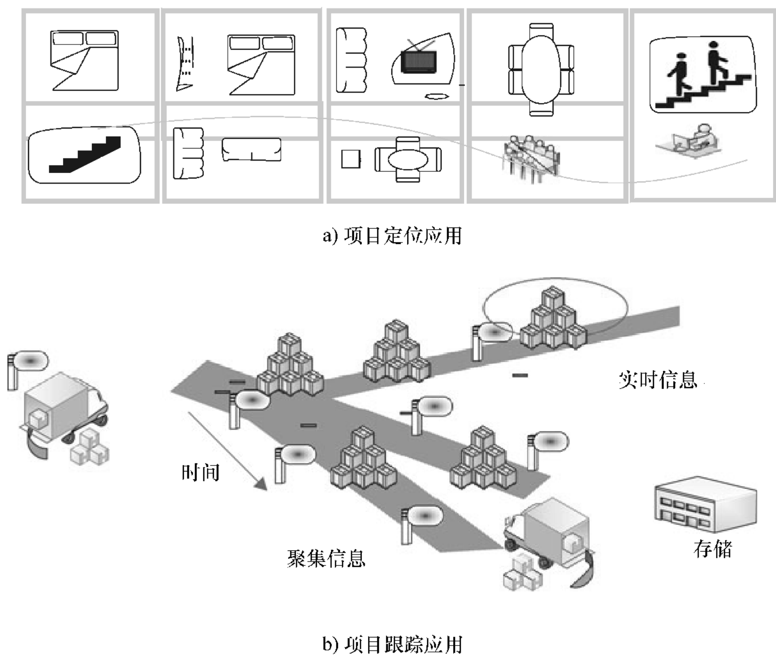
中间件解决方案被认为是与底层系统交互的一个结构层，其中底层系统对应用程序而言是透明的。目前，已有许多关于通用中间件解决方案的研究。为大规模的以 RFID 技术为基础的系统而设计的中间件具有如下独特特性：①需要知道底层 RFID 硬件的性质；②需要知道 RFID 生成的数据易于出错；③需要及时地满足应用的需求。

### 12.1.1　RFID 中间件系统的应用

许多应用将 RFID 技术视为目标识别、跟踪和监控的一种可行方案。RFID 技术的大规模部署要求有一个中间件框架结构的支持，该架构能够支持两种主要的应用类型：目标跟踪和目标定位应用，如图 12-1 所示。

1）目标跟踪：正如一般供应链场景中的物品跟踪案例，沿传送带部署的阅读器扫描并检测项目。机场行李认领系统就是物品跟踪应用的一个范例。

2）目标定位：在目标定位应用中，标记目标被静止放置且阅读器沿目标的一条路径查找目标的移动轨迹。安装了 RFID 阅读器的机器人在特定环境中寻找丢失的物品就是目标定位的一个范例。另一个场景是部署在灾难场景中的标签可以指导人们的营救工作。




a) 项目定位应用

b) 项目跟踪应用

图 12-1　大规模的 RFID 部署

## 12.1.2　中间件的要求

在设计用于 RFID 部署的中间件时要考虑具有应用要求的装置的固有缺陷。本章介绍了不同的应用要求，根据这些应用要求，本章节对 RFID 中间件系统进行了分类。图 12-2 所示为一个典型的中间件系统。

### 12.1.2.1　基本要求

专门为 RFID 设备的大规模部署而设计的中间件必须满足以下基本的要求，并由基于研究的中间件系统和商业中间件系统对这些要求进行处理：

1）数据组织：由于系统中的数据量非常庞大，为有效查询响应，有必要对这些数据进行恰当的分类和组织。

2）可扩展性：在不显著影响系统性能的情况下，中间件应具有处理阅读器的添加能力，或者能够动态地忽视出故障的阅读器。

3）负载均衡：当处理大量数据时，应能够通过计算原理平衡负载。

4）高吞吐量：系统应能够快速更新来自阅读器的数据，并因此要求中间件具有高吞吐量以处理庞大数量的目标。

### 12.1.2.2　高级要求

RFID 中间件系统应能够根据不同的应用需求提供更丰富的功能，这些要求促

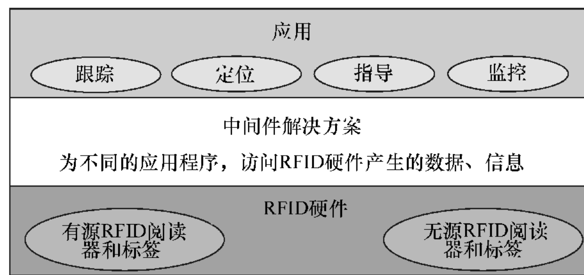



图 12-2　基于 RFID 的中间件系统

使对不同类别的中间件的改进。

1）精确的数据管理：根据不同应用的要求，RFID 中间件系统需要有一种有效控制海量数据的方式。

2）动态资源管理：在许多应用中，RFID 数据可能会导致系统过载，因此要求中间件系统具有对资源的动态管理能力。

3）以人为本的部署：当大规模的 RFID 部署用于目标跟踪时，许多应用领域可以使用 RFID，例如室内引导和监控。这种以人为本的 RFID 技术部署以一种隐蔽的方式处理数据。

以上主要讨论了 RFID 中间件系统的中间件解决方案。本章详细阐述了目前不同的中间件解决方案。

### 12.1.3　分类概述

RFID 中间件系统提供了一个抽象层，来屏蔽底层 RFID 相关硬件的复杂性。这些中间件系统分为通用中间件解决方案、基于事件的系统、动态资源管理系统、特殊用途系统和商业系统，如图 12-3 所示。

1）通用 RFID 中间件：通用中间件系统是一种处理海量 RFID 数据的可扩展的解决方案。这些方案提供的基本需求包括：组织数据、提供可扩展的解决方案、管理大规模的数据和实现高的吞吐量。

2）基于事件的 RFID 中间件：基于事件系统专门用于处理 RFID 事件中的数据。这类方案能够有效地控制 RFID 数据，同时更好地控制对数据的精确管理，扩大该类应用查询操作的应用范围。

3）动态资源管理 RFID 中间件：动态管理系统旨在提供一种解决方案，利用该方案能够处理当前中间件解决方案中不可预料的系统负载。RFID 数据的异步特性可能导致系统在某一段时间内发生过载，而且可能需要专门的算法管理系统中的负载，其中系统对应用程序而言是透明的。

| 类别名称 | 特性 | 范例 |
|---|---|---|
| 通用中间件解决方案 | 可伸缩性、数据管理、项目跟踪应用 | Fosstrak、WinRFID、自适应FRID中间件、$RF^2ID$ |
| 基于事件的系统 | 视RFID数据为复杂事件 | 实时事件处理系统、RMS、ESN、连续事件处理框架 |
| 动态资源管理系统 | 使用该机制处理不能预料的大量数据 | 基于负荷均衡系统的代理、基于连接池的系统、$RF^2ID$等 |
| 特殊用途系统 | 项目定位应用 | GuardianAngel |
| 商业系统 | 由不同商业投资方开发的一种系统 | IBM WebSphere、OAT系统、SAP自动识别、BizTalk等 |

图 12-3　RFID 中间件系统分类

4）特殊用途的 RFID 中间件：特殊用途的中间件系统考虑了特殊应用程序的需求，如以人为本的系统设计和架构。RFID 技术的新兴使用包括隐私问题的室内设施和使用者关注点的解决方案。

5）商业 RFID 中间件：商业中间件解决方案由各公司提供，由于底层系统的可用信息有限，对其评估是一个新的难题。

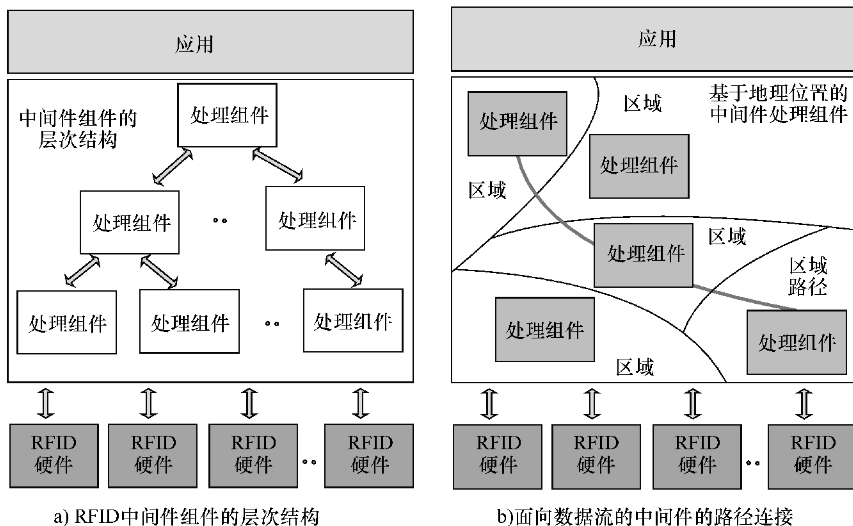
我们对以上不同的类别的系统进行了简要概述。讨论的方式即总结所有特定的类别，然后对这些类别对应的独立系统进行简单描述。

## 12.2　通用 RFID 中间件解决方案

通常，中间件解决方案主要是为大规模的 RFID 部署问题而设计的，通过部署 RFID 实现特定地理空间范围内的对象跟踪。该类系统的目标是提供一种可扩展的高效处理 RFID 数据的方法，满足特殊应用的要求。Fosstrak、WinRFID 以及自适应的中间件都遵循图 12-4a 所示的层次结构。另一方面，图 12-4b 所示的 $RF^2ID$ 为一种面向数据流的解决方法。有趣的是，自适应 RFID 中间件在功能上相当于流水线方法，该方法与面向数据流的方案相似。

### 12.2.1　Fosstrak（原称为 Accada）

Fosstrak（原称为 Accada）是一个基于 EPCglobal 标准团队 EPCglobal（见 EPC-global 官网）的一个开源实现方案，EPCglobal 标准推动了电子产品代码（EPC）的发展。Fosstrak 的组成模块有：阅读器模块、过滤和采集中间件系统，以及应用程



a) RFID中间件组件的层次结构　　b)面向数据流的中间件的路径连接

图　12-4

序所需的数据。

阅读器模块负责对数据的管理，包括数据分发、数据过滤和数据在阅读器层的聚合。过滤和采集中间件则负责分离阅读器和应用程序，为 RFID 生成的数据的聚合和过滤提供了一种合并其他功能的方法。Fosstrak 框架中用于应用层的数据允许应用程序对 RFID 产生的数据进行特殊处理。

Fosstrak 提供了一种处理大量数据的通用解决方案，即使用模块化的方法处理各种行为。

## 12.2.2　WinRFID

WinRFID 为一个多层结构的中间件系统，每一层都具有独立的功能和交互。WinRFID 的分层结构包括 RFID 硬件层、协议层和数据管理层。

RFID 硬件层位于最底层，处理实际硬件，如 RFID 阅读器、标签和附属的传感器元件。它为不同的硬件设备提供了一个通用接口。协议层提供了一种管理各种 RFID 协议的抽象。在该层可以灵活地增加其他协议。数据管理层负责处理易出错的 RFID 数据（如删除重复的数据、验证标签等）。该层有多个特殊组件负责各种数据管理功能，如分别通过 XML 架构组件、数据显示组件和服务组件管理 XML 数据向应用程序显示数据并建立各种服务组件。

WinRFID 系统为大规模的 RFID 部署提供了基础结构和数据管理支持。

### 12.2.3 自适应的 RFID 中间件系统

自适应的 RFID 中间件利用名为中间物理数据的独立性（Meta physical Data Independence，MDI）的层结构，从应用程序中提取 RFID 数据。其基本原理就是隐藏实际的物理设备，并为应用程序提供合适的接口。MDI SMURF 是一个中间件，并作为数据处理阶段的渠道。它包含了一些能够实现不同功能的组件。

RFID 数据流向暂时的 SMURF，由于 RFID 数据流的易出错特性，该 SMURF 使用统计理论修改 RFID 数据流。数据模型包含对象、属性和不确定性估计。对象是物理世界中的特定实体。每个对象都有一组与自身相关联的属性，其中主要的属性是时间和空间。属性在物理世界中具有不同的对象含义。不确定性估计为传感设备的特性，在以对象属性为基础的不同层次结构中均被应用。

自适应的 RFID 中间件提供了一种分析 RFID 数据的方法，并为通信系统提供了强大的分布式架构。

### 12.2.4 $RF^2ID$

$RF^2ID$ 中间件框架指的是 RFID 的可靠框架（Reliable Framework for Radio Frequency Identification，$RF^2ID$ ）。它利用系统层的数据流特性提高系统的可靠性。它定义了两个主要的系统抽象概念：虚拟阅读器（VR）和虚拟路径（Vpath）。

虚拟阅读器是一种抽象的阅读器，它以可扩展的方式捕获实际阅读器和天线的静态的、潜在的易出错特性。虚拟阅读器是系统的分布式计算元件。沿标识对象经过的地理区域部署虚拟阅读器，每一个虚拟阅读器分别负责管理部署在特定区域的 RFID 阅读器。当被标记 RFID 物品经过这些区域时，采用虚拟路径捕捉虚拟阅读器间的信息逻辑流。系统层使用的路径具有以下优点：首先，在多个虚拟阅读器之间分配系统负载，这些阅读器之间的连接路径就是一条具体的虚拟路径。其次，一条路径上可定义不同的 QoS 属性，如精确度和优先级，其中虚拟阅读器根据优先级的不同处理流经相应路径的数据。最后，由于存在基于路径属性的数据的内部表示，便可避免数据中与路径相关的操作处理，如搜索查询结果，或者根据数据的历史路径制定数据行为的未来规划。

$RF^2ID$ 为较大地理区域内的可扩展通信提供了一种可扩展的方式，可扩展的通信采用数据流特定方法处理 RFID 产生的数据。

### 12.2.5 其他系统

其他的中间件系统通常被归为基于其内部架构的分层结构类别。人们尝试使用 RFID 栈解决 RFID 技术的易出错特性导致的系统内部难题（如不可靠性、通信带宽低等）。RFID 栈针对这种难题提出了处理要求和相应的预期功能。系统描述缺少对实际机制的描述，用来实现预期的功能（如基于内容的 RFID 数据路由）。

Wang 和 Liu 就如何根据不同的应用需求来管理 RFID 数据这一问题进行了探讨。他们提出利用数据本身的时间信息增强系统中各种查询机制。这种机制有助于 RFID 数据的处理，但由于这个系统只考虑了数据管理方面的相关问题，没有考虑系统中各组件间的通信，因此，该系统并不是一个绝对的中间件解决方案。

REFiLL 采用编程机制满足不同的应用要求，编程机制使用了滤波方法。REFiLL 对组件结构进行了分层，并保证待识别的系统事件与基于事件的系统相似。

## 12.3　基于事件的 RFID 中间件

许多基于事件的中间件系统都集中研究复杂事件以组织中间件架构。本节将对此类中间件系统进行介绍。如图 12-5 所示，基于事件的中间件系统的基本结构是由配置了事件处理组件的中间件组成的，经过事件处理组件处理后的 RFID 数据可直接用于上层应用程序。使用复杂事件处理（Complex Event Processing，CEP）探讨基于事件的系统。

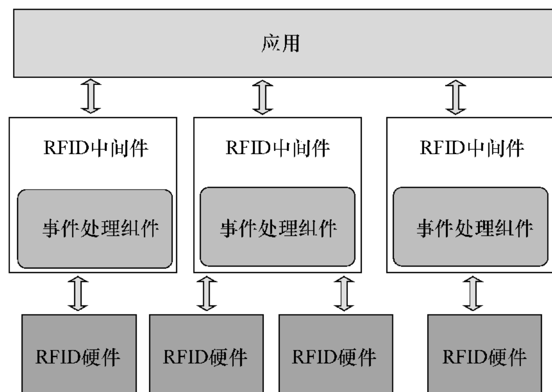



图 12-5　基于事件的 RFID 中间件

### 12.3.1　实时事件处理系统

Dutta 等人提出了一种把 RFID 行为当作事件并对这些事件进行实时操作的中间件系统。该中间件系统能够对基于 RFID 的行为执行对象跟踪应用。其主要的组成有：RFID 事件处理器（Event Handler，EH）和所关注的数据库事件（Events of Interest Database，EIDB）。

基本事件是由 RFID 硬件（如 RFID 阅读器）和非 RFID 硬件（如时钟）产生的。基本事件被送至 EH 进行处理。EH 是系统中最复杂的部分，分为集中式 EH 和分布式 EH 两种。当前的系统为集中式 EH，该 EH 利用基本到达事件并对这些事件中所关注的兴趣事件（Events of Interests，EI）进行匹配。EIDB 中包含了 EI

及其相应的细节信息。EIs 被分解成初始 EIs，然后将初始 EIs 存储在多维的 R 树结构中。最后，利用状态转移图获取合成的 EI 的语义。

实时事件处理系统是处理系统中复杂事件的一种可伸缩的和高效的方法。

### 12.3.2 基于复杂事件处理的 RFID 中间件

Dong 等人提出了 RFID 中间件系统（RFID Middleware System，RMS）的复杂事件处理（Complex Event Processing，CEP）机制处理海量 RFID 数据。采用了 CEP 方法的系统能够处理多个数据流，以便发现事件的相关性和事件关系。

RMS 的组件包括阅读器适配器、缓存策略、事件处理器管理器、订阅管理器和主动数据库。阅读器适配器管理各种 RFID 阅读器的组件，适配器驱动可安装也可不安装。适配器能够接收来自主动数据库的历史信息。缓存策略通过处理来自适配器的数据流来提高系统性能。事件处理器管理器是中间件的关键部件，负责数据的过滤、聚合和分组，并发现 CEP 事件。订阅管理器使用发布 - 订阅策略发出基于事件处理器的报告。与被动数据库不同，主动数据库产生的数据与过去、现在和未来的事件有关。事件处理器需要使用事件处理语言（Event Processing Language，EPL）。

RMS 为管理多数据流生成的复杂 RFID 数据提供了一个架构。

### 12.3.3 EPC 传感器网络中间件中的复杂事件处理系统

EPC 传感器网络（EPC Sensor Network，ESN）被用作基础系统，该系统并入了 ESN 中间件中复杂事件处理机制。CEP 方法的采用使得事件的处理变得简易，并将系统扩展为广域网。ESN 有一个事件驱动的体系架构，并且使用 CEP 来满足高级应用要求。

ESN 的基本组件包括：事件处理器、事件数据库、事件处理引擎和事件行动单元。事件处理器接收来自 RFID 阅读器的事件。它使用队列来管理事件的处理过程。事件数据库为数据储存库，存储相应的操作所需的数据，例如要求数据存储一段时间的数据聚合操作。事件处理引擎是中间件的核心，实现数据的复杂事件的实时过滤、格式化和构建。事件行动单元与上层企业应用相连接，它也可以使用发布 - 订阅策略发送报告。EPC 传感器网络中间件的复杂事件处理系统同时提供了一种数据流的处理方法，这些数据流符合 EPCglobal 标准支持的特殊系统结构。

### 12.3.4 上下文事件架构

Moon 等人和 Kim 等人采用上下文事件架构处理 RFID 数据。其目的是保证系统能够实时地处理 RFID 数据，并因此定义上下文。

上下文事件系统架构主要由四个组件组成：上下文事件通知层、上下文事件管

理层、参考数据收集组件、CESpec 注册/CE 储存库。上下文事件通知将上下文事件送至 RFID 应用程序。上下文事件管理层负责收集 RFID 事件，并使用参考数据来转换事件。RFID 事件收集使用中间件接口获取 RFID 事件信息。参考数据收集组件负责接收来自外部数据服务器的参考数据。CESpec 注册/CE 储存库用来存储上下文事件规范和生成的上下文事件。该系统使用上下文事件的概念来实时地处理数据。

## 12.4　RFID 数据的动态资源管理

在许多应用中，比如供应链管理，RFID 数据具有异步特性。由于系统在不同的时间窗口内的负载不同，数据的异步输入使得系统能够在特定的时间间隔内处理大量的数据。RFID 中间件必须能够动态地管理突发的数据负载，确保应用不受影响。目前已有许多管理 RFID 产生的突发负载的方法，如使用代理系统中的负载转移技术、基于连接池的系统和基于降载的 $RF^2ID$ 资源管理中介绍的降载技术。基于资源转移的动态负载管理采用的这些基本技术实现了从重载组件到轻载组件的负载均衡分配。图 12-6 所示为一个基本的资源管理系统。代理系统和基于连接池的系统都属于资源管理系统。这些系统位于一组通用的 RFID 中间件系统和一组 RFID 硬件组件（RFID 阅读器和标签）之间。

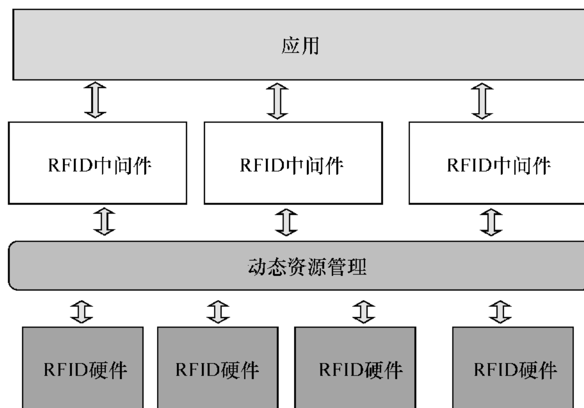



图 12-6　RFID 中间件中的动态资源管理组件

### 12.4.1　RFID 中间件的基于代理的负载均衡

基于代理的负载均衡机制采用移动代理对系统的资源管理进行决策，并使用多种策略来管理系统负载。

下面简单介绍策略的概念。信息收集策略收集来自中间件主机的工作负载信息

并广播这些信息，以便做出正确的策略。初始化策略根据源节点、目的节点或对称过程决定负载均衡启动程序。工作转移策略对初始化后的工作再分配。选择策略则确定需要进行再分配的所有工作。位置策略决定具体的中间件以转送特定的工作。负载均衡中间件在位于代理平台之上的每一个主机中放置一个代理容器。这样，RFID 阅读器能够基于自己当前的工作负载状态动态地决定需要通信的中间件。为此，设计了负载聚集代理（Load Gathering Agent，LGA）和阅读器负载均衡代理（Reader Load Balance Agent，RLBA）两种管理代理。LGA 是遍历系统的移动代理，RLBA 为中间件主机中的静态代理。本章提出的系统给出了设计和运行一组中间件系统的框架，这些中间件系统能够使用负载均衡机制动态地调整资源。该系统缺少对实际实施和评估的描述；因此，工作负载的实时重新分配效果并不显著。

### 12.4.2 使用连接池的负载均衡

使用连接池的负载均衡在不同的节点间重新调整负载，减少重载节点的负载。通过这种方法，阅读器读取的标签数据进入连接池。连接池负责连接连接池管理员管理的多个中间件。其主要组件有：连接池、连接池管理员、连接池表、中间件管理表和中断检测组件。

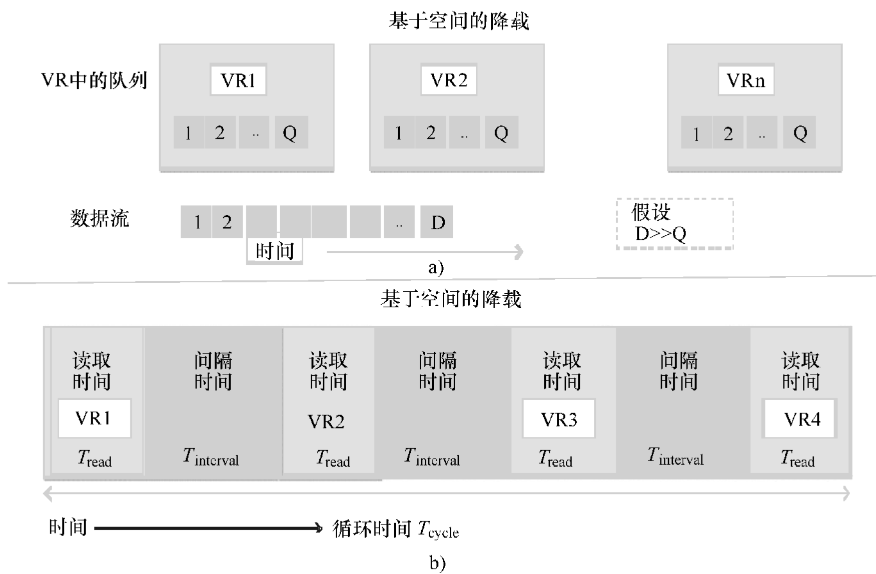
连接池的工作原理类似交换机，许多数据通过连接池从 RFID 阅读器被传送至中间件。连接池管理员根据资源状态负责将标签数据分配给中间件。连接池表保存连接池中标签数据的当前信息。中间件管理表将标签数据中的信息保存到中间件分配信息中。中断检测组件则起到监控中间件的作用，并将监控信息通知中间件管理表。这种系统同时为多个中间件系统间的负载管理提供了一种方法。基于系统的连接池没有给出此类系统的具体实施方案。如果管理不善，这类系统将收集所有的数据并进行分发，这将产生严重的性能瓶颈。

### 12.4.3 基于资源管理的降载

在 $RF^2ID$ 中使用降载作为 RFID 中间件资源管理技术。该技术利用分布式计算元件的虚拟阅读器（Virtual Reader，VR）和虚拟路径（Virtual Path，Vpath）作出智能的降载决策。它使用了一个基于空间的降载机制和基于时间的降载机制，如图 12-7 所示。

在基于空间的降载技术中，VR 以提高预定义系统的性能的方式决定处理特定的负载量。该技术能够合理地提高突发高负载的大规模分布式系统装置的性能。基于时间的降载技术是空间降载技术的时间等效，其中 VR 决策特定时段内的项目处理。

RFID 中间件资源管理技术要求其应用环境中的组件关于操作时间同步。目前，已成功设计并实施了基于不同技术的降载，而且验证了突发高负载时系统可接受的性能。




（循环时间（$T_{cycle}$）：对象移动至某条路径（如传送带路径）所需的时间；读数时间 $T_{read}$：对象移动至某VR区域所需的时间；间隔时间（$T_{interval}$）：对象在不同VR之间移动所需的时间）

图 12-7　降载

### 12.4.4　其他系统

Dong 等人提出一种启发式的标签分配方案处理系统负载。然而，这个启发式方案只适用于静态阅读器和标签。若应用于移动标签，将会增加系统的复杂度。

## 12.5　用于目标定位的 RFID 基础结构

采用了 RFID 技术的目标定位的研究工作取得了很大的发展。大多数系统提供了一种不需要使用中间件便可部署 RFID 系统的方法。GuardianAngel 中间件系统提供了一个解决方案，解决使用了虚拟技术的室内引导和监控应用。

### 12.5.1　GuardianAngel

在部署了引导和监控应用程序的环境中，如辅助的生活中心，要有一种分享数据的方法。从隐私和舒适性的角度来看，这些数据对用户而言无关紧要的。要求用户佩戴徽章的传统方法或视频系统不能满足用户的舒适等级要求。在系统中并入人类行为能够解决通用系统解决方案不能解决的问题。目前面临的挑战是在向用户提

供细粒度引导信息的同时提供粗粒度的信息到达监控的目的。GuardianAngel 中间件将引导和监控能力集成到 RFID 标签中，供持有移动式 RFID 设备的用户使用。

GuardianAngel 有两个工作层，如图 12-8 所示。底层为引导层，向用户提供位置信息以便做出引导决策。上层是监控层，拥有环境的全部信息。普适环境中部署了低成本的 RFID 标签。引导层通过带有 RFID 阅读器的手持设备支持获取标签信息。因此，该层可提供居民的当前位置信息和通过感知环境中获得的邻近对象信息。监控层有关于整个环境的信息。引导层定期更新粗粒度信息，这些信息被定义为居民在监控层的虚拟位置。由于引导层的容量有限，仅保留部分从监控层获得的映射信息。GuardianAngel 为用户提供了不同的视角，确保系统的谨慎指导和监控服务。

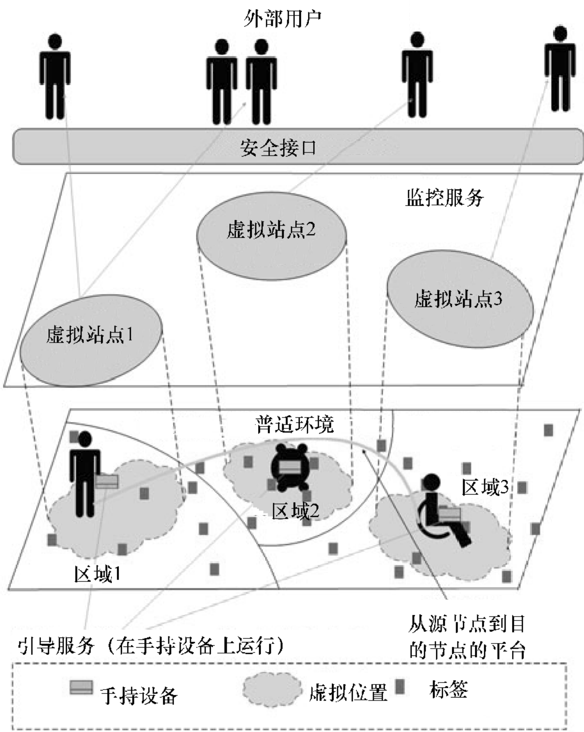



图 12-8　GuardianAngel

## 12.5.2　其他系统

情境感知计算领域中的很多研究工作主要围绕解决不同设备、接口和操作问题的通用解决方案开展。Chang 等人提出了一个认知辅助环境系统。与 GuardianAngel 的方法类似，该系统也使用部署了标签的环境，但它更侧重建立一个统一接口来提高用户体验，而不是详细规范中间件。Abascal 等人提出的系统为认知障碍人群提

供一个情境感知信息和智能决策的环境。该环境中的抽象编程概念提供了一个高层的虚拟化架构，促使架构中的某层的聚合查询。与 RFID 的具体解决方案相比，该方案更具通用性。关于 RFID 中间件系统的其他研究，如 Thiem 等人提出了一个 RFID 基础设施与无线通信接口相结合的架构，实现了对现有架构的扩展，以相对较低的成本提高了环境覆盖面积。

## 12.6　商业 RFID 中间件解决方案

RFID 中间件的商业发展表明了近年来对商业 RFID 中间件解决方案的需求。主要解决方案的提供者已经提出了一些商业 RFID 中间件的解决方案。IBM WebSphere Premises 服务器的面向服务的商业 RFID 中间件结构具有实时跟踪、开发多感知系统、集成分布式环境和处理与业务需求相匹配的数据的功能。大规模的供应链系统，像空中客车公司便使用了 IBM WebSphere 架构和 OAT 系统的商业应用程序。同样地，微软公司的名为 BizTalk 的 RFID 解决方案以基于事件的技术为基础，构建了一个可伸缩的、稳定的和安全的系统。SAP Auto－ID Infrastructure 的 RFID 中间件的解决方案具有快速、可连接和可扩展的特征。该方案支持编程语言，并采用了 Savant 技术。

## 12.7　分析

越来越多的 RFID 中间件研究和发展表明，RFID 中间件对当今各种应用的重要性。我们已经检查了各种 RFID 中间件系统的结构组件，其主要区别在于系统的组织方式不同。在性能方面，由于多系统都是面向特定应用领域的，所以没有用于研究每个系统的标准指标。另外，大规模 RFID 部署中，现实世界数据的不可用是无法对各个中间件系统进行对比研究的另一个制约因素。本节采用定性法分析了目前的各种中间件解决方案，了解它们彼此之间的独特性和差异。

### 12.7.1　对通用中间件解决方案的分析

Fosstrak 在以前的文献中（也称 Accada 或 Savant）是 RFID 中间件研究工作的先驱。它详细介绍了分层组件结构的中间件系统。这种中间件结构已被当作建立不同增强的系统结构（如基于事件系统）的基线系统。它为定义大规模 RFID 部署的通用中间件解决方案提供了一种方法。在该技术的起步阶段，它在各种规范的标准化过程中起到了很大的作用。从规范和组件及交互描述方面而言，Fosstrak 是所有以研究为基础的中间件方案中最好的解决方案。

形而上学的物理数据的独立性（Metaphysical Data Independence，MDI）主要降

低应用中硬件的复杂性。MDI 的实施称为 MDI－SMURF。数字系统中数据的处理方式与应用层所需的处理方式存在很大的差异。MDI－SMURF 为应用程序所需的物理数据提供了抽象概念。它在以时间－SMURF 为起始的阶段起到了通信渠道的作用，其中 RFID 数据为时间 SMURF 的输入，然后转发数据到空间－SMURF，空间－SMURF 负责管理数据中的近似性信息。虚拟化模块管理基于时间和空间信息的数据。该方法的优点是解决了大规模 RFID 部署中面临的数据结构和管理难题。该系统支持查询，以处理需特别关注的数据，例如关于一组数据的不确定性的期望值。大规模的 RFID 部署需要与数据操作的紧密耦合。

另一方面，$RF^2ID$ 从系统的角度考虑部署大规模的 RFID 应用。$RF^2ID$ 着眼于解决系统的可扩展性、通信能力和数据管理问题，这些特征与先前的方案互补。$RF^2ID$ 采用独特的方法组织计算元件模仿物理数据流。面向数据流的组织方法可增加系统的功能，比如对象位置（对丢失或错放目标位置的检测）的实时响应、突发系统负载时的动态资源管理及基于时间和空间的应用支持。沿对象物理路径的通信适合任何一个基线系统，以便实现对等级不断提高的数据的访问。对于具有实时了解系统状态（如实时库存状态）的应用而言，$RF^2ID$ 起到了举足轻重的作用。

在数据管理、通信和大规模系统部署方面，所有的通用中间件解决方案都给出了一种满足核心应用需求的解决方法。如果无法实现这些核心功能，那么这个中间件解决方案将是一个不完整的方案。由此看出，通过下面讨论的各种因素，可以增强以上通用中间件解决方案。

### 12.7.2　基于事件的系统分析

基于事件的系统能标记系统中每一层发生的事件，且对来自数据流的事件进行定义，为数据处理提供了一种粒度化方法，同时为不同的事件设计了适当的操作方法。

基于事件的系统可以是一个独立的中间件系统，也可以集成到现有的通用 RFID 中间件系统中，如 ESN。ESN 是由 EPCglobal 定义的且以 EPC 网络为基础的系统。基于事件的系统提供了一种实时细粒度数据分析方法和生成复杂事件的方法，其中，这些复杂事件由一组简单事件组成。基于事件的系统适用于大规模系统的实时数据处理，以及复杂事件的设计和分析。此外，通过把基于事件的框架应用到通用中间件解决方案获得的细粒度计算能力能够为处理大规模数据提供一种灵活的方法。

### 12.7.3　动态资源管理系统的分析

基于动态资源管理的方法主要解决系统数据过载情况下的系统稳定性问题。采用了多种资源管理方法的系统使用现有的中间件解决方案处理数据管理、组件之间的连接和通信。动态资源管理系统可以被视为添加在通用解决方案中的一个专门的

组件。

动态资源管理系统的性能取决于应用场景和系统负载水平。当中间件系统有时间动态分配 RFID 数据给相应的中间件系统时，资源转移方法是最合适的方法。采用时间窗口处理 RFID 数据的应用程序（如库存的聚合信息）非常适合这种技术。启发式负载均衡方法主要针对 RFID 阅读器和标签的静态放置问题，因此这种方法适合于静态数据分配的应用（如稳定环境的监控）。基于降载的资源管理技术适用于约束环境中实时数据传送的应用。该技术适合于需要提供系统实时状态的应用（如系统的实时库存情况）。

### 12.7.4　特殊用途系统的分析

在通用跟踪解决方案的基础上努力合成不同应用领域的 RFID 技术，这一需求触发了特殊用途系统的发展。在任何内部支持系统中，隐私安全是所有室内支持系统的主要指标。随着 RFID 技术的不断成熟，特殊用途系统的应用范围也将更加广阔，并且中间件系统都支持特殊应用。

### 12.7.5　商业中间件解决方案的分析

商业 RFID 中间件解决方案适用于各种应用。从系统工作机制或系统性能参数方面比较和对照商业中间件解决方案与基于研究的解决方案，或者比较不同的商业解决方案和基于有限可用信息的商业中间件解决方案，都是一项比较困难的工作。与研究原型或国产中间件解决方案相比，商业中间件解决方案的代码库更大。其中，国产中间件解决方案增加了恶意代码被插入较大源代码的可能。但是较小的解决方案被完全检测到的概率非常小，而且容易受到攻击。人们对 RFID 越来越感兴趣，导致了对 RFID 系统的恶意攻击也越来越多。商业解决方案的发展向我们提出了新的要求，并引发了对基于 RFID 技术的中间件系统的极大关注。Oracle 公司开发的传感器服务器解决方案为大规模 RFID 部署提供了一个可扩展、快速和可伸缩的解决方案。对商业解决方案的讨论对推动研究工作的应用需求带来很大的启示。

## 12.8　开放性问题

近年来，基于 RFID 的应用不断增加，中间件系统也不断出现以满足各种应用需求。然而，在不久的将来，仍然有很多重要的难题需要解决，如安全性、节能和通用性问题。

与其他系统一样，安全性是 RFID 系统最关注的问题。由于恶意数据的存在，中间件系统必须谨慎地处理大量的数据。RFID 中间件系统中大量的可用信息引起了恶意用户访问敏感信息的兴趣。目前，基于研究的中间件系统没有将安全性作为

系统的一个重要特征。商业解决方案也没有将安全性作为主要的服务。安全性可集成在中间件解决方案中的中间件层，如此便可在低层删除恶意设备、恶意数据或恶意查询。

近年来，节能成为大规模系统的另一主要目标。对于大规模的 RFID 系统而言，必须有合适的降低能源消耗的机制。由于中间件解决方案与硬件设备紧密耦合，因此是能源消耗检测的最佳方法。我们相信不久将会有新的有关能量感知的 RFID 中间件设计策略或中间件的增强节能系统。

一个系统可能有多个难以推广的应用。虽然目前已有许多 RFID 系统的解决方案，但仍然需要一个能够为更多的应用提供解决方案的通用中间件系统，例如跟踪、监控和引导等。希望将来提出更多满足特殊需求的通用解决方案。

## 12.9 结论

不同的中间件解决方案要解决的问题也不同，但是这些系统的主要目标是基本一致的。RFID 数据的不可靠性增加了对大量数据的处理难度。中间件系统必须及时地传送数据并具有可扩展性。近几年开发的诸多应用，推动了对 RFID 设备中间件解决方案的研究。鉴于实际应用部署，中间件解决方案还存在适用性问题。工业的特殊要求将推动中间件解决方案的可行性和可接受性方面的进一步研究。

## 参 考 文 献

Abascal J et al (2009) Towards an intelligent and supportive environment for people with physical or cognitive restrictions. In: Proceedings of the 2nd international conference on pervasive technologies related to assistive environments, Athens, Greece, 16–19 July

Acharya A et al (2008) Presence virtualization middleware for next-generation converged applications. In: Proceedings of the ACM/IFIP/USENIX middleware/08 conference companion, Leuven, Belgium, 1–5 December

Ahmed N et al (2007) $RF^2$ ID: a reliable middleware framework for RFID deployment. In: IEEE International parallel and Distributed processing Symposium, Long Beach, CA, USA, 26–30 March

Ahmed N (2009) Defining virtualization based system abstractions for an indoor assistive living for elderly care. In: Proceedings of the 11th international ACM SIGACCESS conference on computers and accessibility, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 25–28 October

Ahmed N et al (2009) Load shedding based resource management techniques for RFID data. In: Proceedings of the IEEE international conference on RFID Orlando, FL, USA, 27–28 April

Ahmed N et al (2010) GuardianAngel: an RFID based indoor guidance and monitoring system, PWN, Percom, Mannheim, Germany, 29 Mar–2 Apr 2010

Anagnostopoulos AP (2009) REFiLL: a lightweight programmable middleware platform for cost effective RFID application development. Pervasive Mob Comput 5(1):49–63

Application Level Events Standard v.1.1.1 – Part 1 (2009) http://www.epcglobalinc.org/standards/. Accessed 1 Mar 2010

Chang Y et al (2008) A context aware handheld wayfinding system for individuals with cogni-

tive impairments. In: Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on computers and accessibility, Halifax, Nova Scotia, Canada, 13–15 October
Cherniack M et al (2003) Scalable distributed stream processing. In: Proceedings of the CIDR conference, Asilomar, CA, USA, 5–8 January
Dong L et al (2006) Design of RFID middleware based on complex event processing. In: Proceedings of cybernetics and intelligent systems, Bangkok, 7–9 June
Dong Q et al (2008) Load balancing in large-scale RFID systems. Comput Netw 52(9):1782–1796, Anchorage, AK
Dutta et al (2007) Real-time event handling in an RFID middleware system. Lect Notes Comput Sci Databases Networked Info Syst 4777:232–251, doi: 10.1007/978-3-540-75512-8_17
EPC Information Services Standard v. 1.0.1 (2007) http://www.epcglobalinc.org/standards/. Accessed 1 Mar 2010
EPC Tag Class Definitions (2007) http://www.epcglobalinc.org/standards/. Accessed 1 Mar 2010
EPC Tag Data Standard v. 1.4 (2003) http://www.epcglobalinc.org/standards/. Accessed 1 Mar 2010
EPC Tag Data Translation Standard v. 1.4 (2009) http://www.epcglobalinc.org/standards/. Accessed 1 Mar 2010
EPCglobal Architecture Framework v. 1.3 (2009) http://www.epcglobalinc.org/standards/architecture/. Accessed 1 Mar 2010
EPCglobal, Low Level Reader Protocol Standard v. 1.0.1 (2007) http://www.epcglobalinc.org/standards/. Accessed 1 Mar 2010
EPCglobal, Object Naming Service Standard v. 1.0.1 (2008) www.epcglobalinc.org/standards/ons/. Accessed 1 Mar 2010
Franklin MJ et al (2005) Design considerations for high fan-in systems: the HiFi approach. In: Proceedings of the CIDR conference, Asilomar, CA, USA, 4–7 January, 2005, pp 290–304
Feng CJ et al (2007) Agent-based design of load balancing system for RFID Middlewares. In: Future trends of distributed computing systems, Sedona, AZ, USA, 21–30 March
Floerkemeier C, Lampe M (2005) RFID middleware design: addressing application requirements and RFID constraints. In: Proceedings of the 2005 joint conference on smart objects and ambient intelligence: innovative context-aware services: usages and technologies, Grenoble, France, 12–14 October, 2005, pp 219–224
Floerkemeier C, Roduner, C, Lampe M (2007) RFID application development with the Accada middleware platform. IEEE Syst J 1(2):82–94
Fosstrak, An open source RFID platform (2010) http://www.fosstrak.org/. Accessed 1 Mar 2010
Gribble SD et al (2001) The Ninja architecture for robust internet-scale systems and services. Comput Netw 35(4):473–497
IBM press release (2008) Airbus selects IBM and OATSystems for world's largest RFID-enabled manufacturing initiative, http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/23875.wss. Accessed 1 March 2010
IBM Webspere premises server (2010) http://www-01.ibm.com/software/webservers/appserv/was/. Accessed 10 Aug 2010
Jeffery SR et al (2006a) Adaptive cleaning for RFID data streams. In: Proceedings of the 32nd international conference on very large data bases (VLDB'06), Seoul, Korea, 12–15 September 2006
Jeffery SR et al (2006b) A pipelined framework for online cleaning of sensor data streams. In: Proceedings of the 22nd international conference on data engineering, Atlanta, GA, USA, 3–7 April 2006
Jeffery SR et al (2008) An adaptive RFID middleware for supporting metaphysical data independence. VLDB J 17(2):265–289
Kim Y et al (2006) A framework for rapid development of RFID applications. Lect Notes Comput Sci, Computational Science and its Applications, 3983:226–235
Moon M et al (2006) Contextual events framework in RFID system. In Proceedings of third international conference on information technology, Las Vegas, NV, pp 586–587

Microsoft BizTalk (2009) http://www.microsoft.com/biztalk/en/us/rfid.aspx. Accessed 1 Mar 2010
OAT systems (2009) http://www.oatsystems.com/. Accessed 1 Mar 2009
EPCglobal (2009) http://www.epcglobalinc.org. Accessed on 1 Mar 2009
Oracle Sensor Edge server (2009) http://www.oracle.com/technology/products/sensor_edge_server/index.html. Accessed 10 Aug 2009
Park S et al (2007) Load balancing method using connection pool in RFID middleware. In: Proceedings of the 5th ACIS international conference on software engineering research, management and applications, Busan, South Korea, 20–22 August
Prabhu BS et al (2006) WinRFID: a middleware for the enablement of radiofrequency identification (RFID)-based applications. In: Wireless internet for the mobile enterprise consortium (WINMEC), Forum UCLA, Los Angeles, CA, USA, 9 May
Rieback MR et al (2006) Is your cat infected with a computer virus? In: Proceedings of the 4th annual IEEE international conference on pervasive computing and communications, Pisa, Italy, 13–17 March, 2006, pp 169–179
SAP AutoID Infrastructure (2009) http://www.sap.com/platform/netweaver/autoidinfrastructure.epx. Accessed on 1 Mar 2009
Thiem L et al (2008) RFID-based localization in heterogeneous mesh networks. In: Proceedings of the 6th ACM conference on embedded network sensor systems, New York, NY, USA, 5–7 November
Wang F, Liu P (2005) Temporal management of RFID data. In: Proceedings of the 31st international conference on very large data bases, Trondheim, Norway, 30 Aug-2 Sept, pp.1128–1139
Wang W et al (2008) Complex event processing in epc sensor network middleware for both RFID and WSN. In: Proceedings of the 11th IEEE symposium on object oriented real-time distributed computing (ISORC), Orlando, FL, USA, 14 May

# 第 4 部分　创新应用

# 第 13 章　RFID 在服装零售业的应用：Galeria Kaufhof 案例研究

Jasser Al - Kassab，Philipp Blome，Gerd Wolfram，Frédéric Thiesse，Elgar Fleisch

**摘要**：本章主要介绍 RFID 技术对服装零售业的商业价值。我们以 Metro Group 的子公司——欧洲最大的百货连锁店之一 Galeria Kaufhof 的 RFID 项目作为案例进行研究。试验表明，库存自动化的管理可以提高商店的营运效率，例如库存的盘点和货物收据。此外，RFID 能够满足新用户在销售现场的应用体验，允许重置用户界面，从而改善服务流程与服务质量。另外，在销售现场得到的数据分析有助于减少货物收据与百货公司销售点之间的“数据无效性”，从而便于直接观察和分析店内的物理流程。RFID 数据分析报告得到的信息，有助于百货公司进行库存管理、品类管理、店面布局管理以及百货公司进程（工序管理）。

## 13.1　引言

在当今的零售行业中，自动识别技术得到了广泛的应用。35 年前，消费品条形码和 UCC / EAN 编码方案的引入从根本上改变了这个行业，并为某些新供应链概念奠定基础，如直接配送、连续补货和供应商库存管理。虽然在 20 世纪 70 年代，零售商、供应商以及经销商曾担心其投资初始成本的问题，条形码的商业成功案例，它所带来的利益能够使投资迅速得到回报，因此，条形码获得了商业界的广泛认可。

RFID 技术作为条形码的继承，吸引了人们极大的兴趣。尽管具有广泛地标准化活动、众多研究项目、公众性程度很高的先导项目和主要零售商的支持（如义务提供 RFID 技术），但是，关于 RFID 技术可能带来的利益的激烈讨论仍未停止。虽然已经证实通过自动化可以提升独立工序级的操作效率，但是 RFID 应用的自动化效能受限，不能反映 RFID 技术的商业价值潜力。集成 RFID 系统能够收集供应链中物理过程相关的精确、实时信息，这是传统技术无法做到的。此外，RFID 技术还能实现用户界面的重新设计，例如在销售区的产品推荐系统。在理论和实践方面，丰富的经验和模型都证明了 RFID 技术的优势。

新形势下，为了评估集成 RFID 系统在某些方面的潜能，2007 年 9 月，Metro Group 联手 Galeria Kaufhof Warenhaus AG（以下简称为 Galeria Kaufhof），在其配送中心和百货公司启动了 RFID 试验。为了完成实验，配送中心为 250000 件物品配

置了 RFID 标签，并且在供应链的配送中心到销售点进行跟踪。在仓库与卖场之间的货物转场、货物签收、试衣间、电梯、自动扶梯、付款台以及许多商品架上都安装了阅读器。从 2007 年 9 月到 2008 年 11 月运行期间，RFID 数据由中央储存库收集和分析，试验的结果将在后续内容进行介绍。

## 13.2　基本原理

### 13.2.1　RFID 技术

过去的 10 年里，自动识别（Auto－ID）中心的研究项目和产业组织“EPCglobal”共同推动了 RFID 技术的发展。自动识别中心通过开发接口标准在实践上推动了 RFID 技术的进步。这一标准的基础是电子产品代码（EPC），也称为“EPC Network”。相对于传统的 13 位条形码，EPC 是存储在 RFID 标签芯片中的一串数字序列，它可以识别物品级的物理对象。除 EPC 以外，RFID 标签通常不存储任何信息，此外，EPC 描述了用于网络的数据集。

### 13.2.2　RFID 商业价值的研究

很多学者已经探索 RFID 在多个领域中的商业价值。本节除了介绍 RFID 在零售行业中的应用，还概述了最重要的产业和应用领域。因此，本节着重于定性分析 RFID 技术在这些领域中商业价值。

#### 13.2.2.1　客户服务

2009 年，Heim 等人研究了 RFID 在服务业中对客户价值的影响，并证明了 RFID 不仅有助于节约成本和跟踪库存情况，还有助于人们认识 RFID 在服务应用中的价值，如个性化、便利、娱乐、安全、信息存取、VIP 待遇、服务可达性、使用方便和产品供应等。例如，Gigalis 等人探索了 RFID 在移动应用中的服务。Loebbecke、Nagy 等人和 Wang 等人对基于 RFID 应用的未来服务环境进行了研究。尽管这项研究的成果很有前景，但只有少数的企业投资 RFID 来改善客户服务。造成这种情况的原因是，RFID 还没有被列为一个重要的服务研究课题，并且服务管理研究人员仍然需要理论基础和框架来进行后续的试验工作。因此，RFID 对提高客户服务的效果还不明显。

#### 13.2.2.2　图书馆

Curran 和 Porter，以及 Falk、Wyld、Yu 研究了 RFID 在图书馆中的应用。他们发现 RFID 技术有助于简化图书馆的工作流程，如书籍盘点、书籍搜索（包括错放和丢失书籍的位置）、改善书籍流通和维护、引导与个性服务、简化借书手续、维持收藏的秩序和统计图书借阅情况。我们可以得出：RFID 系统提供的功能和益处

正是改善图书馆所需的。另外，Falk 认为，投资这种技术所带来的收益“不能用这些芯片带来的金钱利益来衡量”。除了上述定性收益外，他所罗列的唯一量化价值是减少了由于图书管理员人工操作不当造成书籍损坏而引起的赔偿，因为安装自主借阅系统可以大大减少不必要的损失，例如旧金山公共图书馆在 3 年内节省了 265000 美元。

#### 13.2.2.3 飞机维护

Wheatley 所描述的，在飞机制造业中，空中客车公司使用 RFID 技术定位被标记的备用配件、事故后机器的维修和定期检查。此外，还使用 RFID 技术标记工具，使其携带信息，如生产日期、近期的校验日期，但并没有给出量化或货币化的商业价值。

#### 13.2.2.4 医疗保健

在医疗保健行业中，RFID 的益处是能够找到病人在医院治疗期间的生活日志，包括病人护理、恢复状况和出院信息。一旦病人带上了 RFID 腕带，医生可以方便地对病人进行全方位的跟踪和检测，自动追踪病人的药物，以及查询病人在治疗期间使用的药物清单和账单。此外，RFID 可以迅速对医院内重要医疗设备的位置进行定位。为了分析 RFID 数据在医疗保健服务中的流程再造上所起的作用，2007 年，Amini 等人进行了仿真研究。然而，在医疗保健业中，除了提到的定性利益，没有任何研究对 RFID 的商业价值进行过定量分析。

#### 13.2.2.5 防伪与制药

许多学者在 RFID 技术保护合法供应链免受伪劣产品的影响方面进行研究，比如假冒伪劣药物和香烟。显然，伪劣药物或香烟有害健康，因此，量化商业案例计算已近过时。然而，Lehtonen 等人发现在商业案例中，基于案例的标签技术对产品防伪具有很大帮助。

#### 13.2.2.6 物流退货

对物流公司的案例研究，Langer 等人将 RFID 技术应用在物流中心，发现客户的索赔数量大幅度下降。RFID 技术有助于减少装卸工、收货台和仓库管理人员的工作失误，减少索赔纷争时间以及阻止欺骗性投诉行为。据统计，索赔发生率降低了 54.29%，索赔的总额也降低了 29.7%。2007 年，Karaer 和 Lee 运用数学模型研究 RFID 作为制造商反向通道的启用技术的潜力。他们发现提高可见度利于厂商的回收处理。然而，他们认为 RFID 真正能够带来的利益，只能在整个供应链中进行综合分析。

#### 13.2.2.7 供应链管理

大量的文献描述了 RFID 在供应链中的潜在优点，比如提高工作效率、准确性、物流与信息流的安全。然而，为了评估 RFID 在这些应用中的商业价值，少数文献列出了量化的益处。比如，2006 年 Hou 和 Huang 对印刷业供应链中不同物流

活动的 RFID 应用的成本和收益进行了定量分析，基于在操作时间、劳动力和成本这三个方面所带来的效益，他们认为 RFID 仅仅是条形码的替代技术。据推算，年收入超过 20 万欧元的零售商采用 RFID 技术后每年可节省 17 ~92 个工作日。2005 年 Venables 描述了某个苏格兰酿酒厂，在从酿酒厂到供货中心再到酒吧的整个供应链中，使用 RFID 标签跟踪昂贵且易丢失的铝桶，使酿酒厂每年节省近 230 万欧元更换铝桶的成本。

RFID 的应用还包括国防、质量管理、农业经营、餐饮管理、自动控制、生产和配套设施、体育、生活时尚、休闲和建设。

在不同的工业部门和应用领域中，有关 RFID 商业价值的研究表明，大多数研究都无法量化 RFID 技术在相应的应用案例中带来的益处。这主要是因为实际应用和设备的数据并不存在。此外，Peppard 等人指出，在实际中，定量评估这种影响的难度在于大量的其他因素以及 IT 的应用与盈利率之间的差距，依靠技术和应用领域来重建个别情况的因果关系链是极其复杂的。因此，这种复杂性取决于使用的技术和应用领域。此外，很多学者也指出在“信息技术冲击”与期望的商业收益效果之间的自动关联是不存在的，这种效果只能通过组织结构和语境因素的一些辅助的互补因子得到。基于企业资源的基础观点，对是否存在所谓的能够让个体企业获得更多的 IT 投资收益的“信息服务/信息技术能力”进行了调查，其中包括 Bharadwaj、Bhatt 和 Grover、Mata 等、Santhanam 和 Hartono，以及 Zhu 的研究成果。Melville 等人尝试将基于过程的方法与基于资源的观点进行合并。预计在未来的几年里，会有更多这方面的研究工作。

同样，在零售业中，RFID 技术的量化收益受到操作层面的自动化水平的制约。下节主要描述现实中 RFID 试验的背景，并举例说明采用了 RFID 技术的产业获得的额外收益。

## 13.3　案例背景

### 13.3.1　零售业面临的挑战

#### 13.3.1.1　服装零售业面临的挑战

服装零售业具有季节性强、波动性大、购买欲高、分布复杂和物流运作的特点。它面临的挑战包括：①生命周期短的时尚产品，通常只有 3 个月；②服装产品种类繁多；③供应链上的假冒伪劣产品；④缺乏对时尚购物者购物行为的认知，被认为是“神秘莫测”的。现在的服装购物者的购物要求及品味越来越苛刻，他们的购物行为变得愈加难以评价。导致消费者行为难以认知的原因是多方面的。首先，生活模式的变化导致了消费者群体的多样化。例如，人们越来越倾向于晚婚，

离婚人数增加，创业群体增加，搬家变得更加频繁。此外，西方国家的人口老龄化迫使零售商不得不考虑老年人的特殊需求。同时，在过去几十年里，西方国家的种族多样性也在增加。这些人口的变化都促使了消费者决策模式的转变。

#### 13.3.1.2 服装零售店面临的挑战

在百货公司，各种零售业态（如折扣店、专卖店、精品店、夫妻店）之间的竞争是很有趣的。Metro Group 在其 2007 年度报告中指出，“专营店、纺织品店以及数量不断增加的商场加剧了该行业的竞争，增加了百货商场经营商的压力。2006 年，与一般的零售商店相比，传统的百货商店的市场份额再次降低”。在服装贸易中，百货公司与“快速时尚”零售商形成了竞争。通过共享价值链上的 POS 数据，零售商能够根据消费趋势做出快速反应，从而降低生产成本。从设计前的灵感启发到产品现场的销售，整个交货周期只需要 12 ~ 15 天。相反，传统零售商的交货周期则为 60 ~ 90 天。

因此，中小零售商发现百货公司损失了较大的市场份额，垂直整合的快速时尚零售商进入了市场。此外，类似于折扣店的非传统的零售商店也成功地进入了服装销售市场。

百货公司和其他传统的零售业努力缩短其交付周期，同时，与新的分销商和零售制造商合作，努力提高其市场导向，例如在百货公司设立专柜或有效客户响应（ECR），但是，目前还无法成功地应对“快速时尚标准”。总之，这些问题促使我们不断地努力改善零售业务。鉴于此，供应链和库存管理是提高工作效率、提高服务水平和降低成本的关键。

#### 13.3.1.3 零售业的 RFID 认知

基于上述服装业的各种挑战，零售商正在积极寻找新的方法用来提高其效率，同时向客户提供新的购物体验。RFID 技术所带来的益处在零售业显得尤为突出。除了节约成本，零售商希望 RFID 应用能够给客户带来新的服务，通过分析采集的 RFID 销售数据重新理解客户的购物行为。分析的结果将用于改善百货公司的业务流程、库存管理、布局规划、品类管理和落实客户具体的营销方案。行业协会声称，RFID 技术还能解决服装零售业中特有的问题。RFID 技术能够提高工作效率，同时还能够实现客户服务的创新，该技术受到了广泛的关注，服装零售商开始在全球范围内对该技术进行多种试验。如图 13-1 所示，其数据是对过去十年间，RFID 试验数据的统计。

多数 RFID 试验要么是后端储备，即扩展供应链和库存物流，例如库存管理和百货公司流程；要么是前台应用，例如 RFID 客户应用。只有极少数的试验涵盖了两者。Galeria Kaufhof 试验涵盖了整个供应链，从配送中心到后端储备，再到前台。下面将详细陈述。

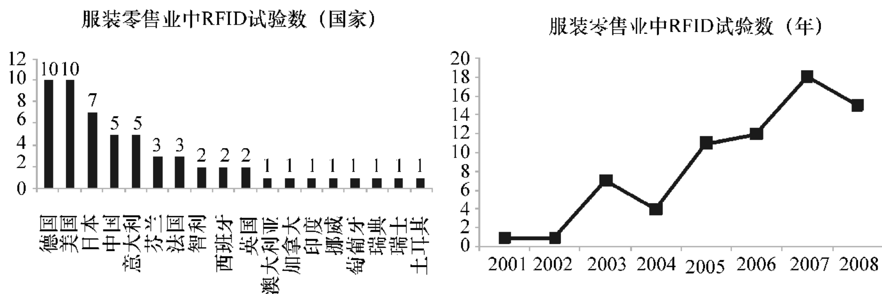



图 13-1　服装零售行业中 RFID 试验数量与趋势

## 13.3.2　Galeria Kaufhof 的 RFID 应用

Kaufhof Warenhaus AG 在德国设立了 126 家百货商店，其中 113 家命名为“Galeria Kaufhof”，另外在比利时设立了 15 家。Galeria Kaufhof 公司是全球第五大零售商 Metro Group 的子公司。作为欧洲领先的连锁公司，Galeria Kaufhof 公司每天的客流量超过 200 万人次，销售面积达到 150 万平方米。它主要销售中高档的国际品牌。该公司的员工约 25000 人，2007 年创造了 36 亿欧元的销售额。

Galeria Kaufhof 首次使用 RFID 技术要追溯到 2003 年，是与时尚产品制造商 Gerry Weber 进行项目合作。项目主要是，在实际条件下，测试 RFID 技术对供应链流程的加速效果和简化效果，其中包括：评估读取速度、由自动识别而节省的时间，审查 RFID 技术是否能够取代传统电子物品防盗系统（EAS）。在服装零售业中，EAS 引起了人们极大的兴趣。

该项目小组还构思利用 RFID 实现创新的客户应用，以及改变库存流程模式。然而，这种想法还没有被验证。由于供应链中各节点进程的自动化，定量的商业案例分析就集中在了时间和成本的节约上。由项目团队得出的许多定性结果显示，RFID 商业潜力的综合评估是相当乐观的。

Galeria Kaufhof 积极加入“为全球环境设计的 RFID 解决方案”（BRIDGE）协会。2006 年 7 月由欧盟资助 1300 万欧元、为期 3 年的 RFID 研究项目——BRIDGE 项目通过研究、制定和寻找能够在欧洲进行 EPCglobal 应用部署的工具，实现欧洲 EPCglobal 网络。该项目包含若干工作进程，其中来自 12 个国家（欧洲和亚洲）的 30 多位跨学科的合作伙伴致力于硬件开发、系统查询服务、安全、防伪、供应链管理、制造工艺流程、可重复利用的资产管理、非食品项目的单一物品级标签以及政策建议的开发和探计。Galeria Kaufhof 主要关注 BRIDGE 项目将促进公司流程的 RFID 实现，加快促进纺织部门采纳 RFID，与产业组织和标准化机构分享经验。作为项目的一部分，2007 年 9 月，Galeria Kaufhof 在德国 Essen 连锁店内三楼男装部

（约 2000 平方米）安装了 RFID 基础设施。

### 13.3.3 项目目标

在项目启动仪式上，Metro Group 和 Galeria Kaufhof 的许多高层主管出席并陈述了他们对项目的理解。参会者一直认为在销售品牌中使用 RFID 技术能够给顾客带来全新的购物体验以及更好的客户服务。因此，Galeria Kaufhof 的 CEO 很想了解工作人员摆脱非增值活动的程度，争取更多的时间直接服务客户。

试点试验商品上装置了 RFID 设备的百货商店的运作流程。因此，Galeria Kaufhof 的 CEO 关注的是在销售现场中顾客对 RFID 技术的反应，以及物品级的 RFID 的优势是否同预期的一样。

另外，期望的物品级端到端 RFID 基础设施能够填补进库和售出产品的“数据空白”（遗失的透明度）。RFID 能够有助于工作人员发现那些过程链中没被录入库存管理系统的产品。因此，RFID 带来与库存管理和店内物流过程相关的效益。

尽管有这些预期的目标，该项目具有“基于创新的实践 ”的特性。就其本身而言，它的目标并不是主要解决单一的、已明确的商业问题，而是 RFID 技术的能力，然后考虑如何利用该技术可能带来的机会。因此，成立了工作组，工作组成员来自于不同的机构。成员商定的最初目标是增加库存量、确定新收入来源、优化当前业务流程、开发新业务流程，以及附加管理报告设计。工作组就 RFID 如何解决以上问题进行了讨论并进行构思，分成三个议题方向：RFID 数据的连续分析、试点试验、顾客与雇员的意见调查。

### 13.3.4 Galeria Kaufhof 的 RFID 基础设施

从技术的角度来看，此次试验是首次全球化使用“近场特高频”应答器，它把高读取速率的高频带标签与低成本的标准化特高频标签相结合。在销售现场，约 30000 件服装配备了 RFID，连续不断地提供给顾客。为了识别这些服装，并把它们的实时信息链接到商品信息系统，大约有 500 个服装夹具装置了 RFID 标签。

从配送中心到销售点，配备了 RFID 标签的所有服装都会进行无缝跟踪。欲出售的产品通过仓库与销售柜台之间过渡区送到男装部。男装部安装了 55 个阅读器和超过 200 副天线。阅读器被安装在多个不同的位置，如配送中心的物流出口（2 个）、百货公司的货物收据（2 个）、标记点（配送中心 3 个，百货商店 3 个）、仓库与销售柜台之间的通道（2 个）、自动扶梯（3 个）、电梯（2 个）、“智能货架”（10 个）、20 间试衣间（20 个）、储藏室（1 个）、销售点（7 个）。一些 RFID 阅读器上装备了光电障碍和运动探测器来确定商品的流向，例如从仓库运输到其他部门。RFID 阅读器记录了成千上万件装置了 RFID 的商品的活动情况。图 13-2 给出了 RFID 的安装图解。

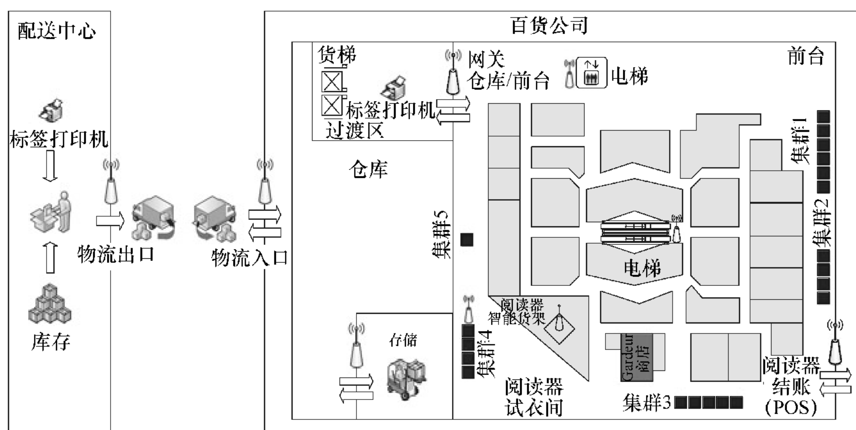



图 13-2 Galeria Kaufhof 在配送中心和百货公司中的 RFID 基础设施

在 Essen 男装部，所有出售的商品都经由配送中心发配。在该配送中心，无源 RFID 标签被粘贴在服装上。阅读器获取服装的所有移动信息，RFID 事件被产生并存储在公司的 EPC 信息服务（EPCIS）中心，该中心收集并共享 RFID 数据。这个系统的安装是与现有的商品信息系统并行的，可以支持库存管理和销售现场的过程。抵达 Essen 的每件商品都会进行识别，并在交货时与对应的电子数据交换（EDI）信息进行比较，然后再存储到虚拟商店库中。安装在男装部出口、入口以及收银台的阅读器能够区分仓库与销售现场的商品。商品信息系统（MIS）的扩展系统的开发有助于检测不在货架上的商品，甚至是仍在库存中没有上架的商品。原则上，这些信息可以全自动化触发商品的补发。

## 13.4 RFID 的应用

### 13.4.1 顾客应用

为了改进用户体验和提高客户服务水平，Galeria Kaufhof 改进了基于基础设施的多种 RFID 应用，同时把它们安装到销售场地。这些应用是为了确认和估计 RFID 技术的客户价值。

#### 13.4.1.1 智能监控

安装在试衣间内的 RFID 阅读器能够读取顾客拿来试穿服装的产品代码。置于 Gardeur 服装店试衣间的显示器会显示诸如尺码、颜色等相关的服装信息。依据显示的监测信息，系统能够判断并提示是否需要替代或补充产品（见图 13-3a）。

#### 13.4.1.2　智能货架

Gardeur 服装店的货架上都配备了 RFID 阅读器和显示器，每个货架的显示器能显示当前货架上所有服装的信息。因此，通过显示器顾客便可找到需要的尺寸和颜色，而不需要检查整个货架上的所有服装（见图 13-3b）。

#### 13.4.1.3　智能试衣镜

安装在售货区的大镜子中内嵌了显示器，它能够显示服装信息。当顾客携带贴有标签的服装靠近这个“魔镜”时，服装的面料信息、保养说明、可选择的尺寸及颜色等信息便会在“魔镜”上显示给顾客（见图 13-3c）。

#### 13.4.1.4　移动手持式设备

利用移动手持设备（MDE），营业员通过扫描商品的 RFID 标签能够向 RFID 系统发送查询请求，例如，查询销售区域和储藏室内的商品或者同类商品的信息——型号、颜色、位置等。而且，为了提高效率，移动手持式设备可用于货物收据和存货清单的计算，相比利用移动条形码阅读器进行手工计算的过程更进了一步（见图 13-3d）。



a) 试衣间的智能监控　　b) Gardeur服装店中的智能货架

c) Gardeur服装店中的智能试衣镜　　d) 移动手持设备

图 13-3　Galeria Kaufhof 销售区域中的 RFID 顾客应用

### 13.4.2　顾客及员工调查

为了调查顾客对 RFID 技术应用的反响，Galeria Kaufhof 于 2008 年 4 月对 125 名女性和 125 名男性顾客进行调查，250 名顾客中，有 50% 的顾客年龄小于 40 岁。

基于 RFID 的应用在现场向大家进行展示，然后向顾客询问一些关于应用的问题，这些问题主要是开放性的。智能货架、智能试衣镜和智能显示器三项应用受到顾客的一致好评，其中智能货架尤其受欢迎。56% 的调查对象认为这些应用能改善他们的购物体验。

49% 的顾客给予智能显示器肯定的评价。顾客特别欣赏该显示器能提供产品可用性的详细信息。同时，当被问及对其负面看法时，约 83% 和 79% 的顾客分别对智能货架和智能显示器给予了消极评价，只有 33% 的顾客对智能试衣镜给予消极评价。正如某些评论所述，出现这种情况的原因可能与显示信息的有用性和显示器在镜子中的显示位置有关。这项调查没有对隐私性问题进行调查，但是 Galeria Kaufhof 已经将 RFID 阅读器介绍给顾客，并且要求员工学习相关知识便于向客户介绍产品。结果是在整个试用期间只有三条与隐私相关的投诉建议。

Galeria Kaufhof 同样对售货员们进行了调查，公司要求每位售货员汇报 RFID 的体验。被询问的员工认为移动手持设备的存货盘点与搜寻功能，方便他们轻松找到目标商品。调查结果清晰地显示，员工对 RFID 应用的反响取决于该技术对完成日常流程工作的影响。另外，Galeria Kaufhof 还收集了许多关于功能改进的建议。

### 13.4.3　RFID 数据分析

Galeria Kaufhof 利用 RFID 设备连续不断地采集数据，同时根据这些数据对店内流程进行分析，这种分析将优于对基于条形码技术的销售和存货数据分析。尽管仅仅对存储在 EPCIS 储存库中的 RFID 原始数据进行分析并不能提供太多商业价值，但是，它却能帮助公司监控数据收集设备的性能和收集的数据质量。为了使该技术能够用于过程相关的分析，收集的原始数据还需经过一系列的处理。

另一方面，还需要过滤机制滤除净化离散读数、不可靠数据和冗长数据。例如，对于分析试衣间中顾客的试衣，销售区域的 20 个试衣间的所有 RFID 读取将被考虑。试衣间试衣行为是根据读取事件的属性“读取点”来鉴别的（如编号为 2 的试衣间）。通过分析一条牛仔裤上物品级标签的产品生命周期，我们发现只有几秒钟的时间，这些牛仔裤信息已在多个试衣间被读取。其原因是试衣间内阅读器的读取范围较广，从而导致离散、冗长的读取事件。总之，试衣间阅读器可能会带来四种类型的读取误差，包括：

1）被相邻试衣间的阅读器读取。

2）被经过的顾客或员工读取。

3）读取的数据来自附近商品的特征。

4）读取了遗留商品的编码。

在分析基于试穿的数据过程中，为了过滤试衣间的读取误差（噪声），急需设计能够过滤错误扫描数据的过滤算法。

第二步，为了给业务分析提供必要的数据基础，定义了处理 RFID 原始数据的必要的数据过滤、聚合技术和原始数据处理机制。下面三节基于图 13-4 展开。

因此，简要介绍这些可用的数据资源（EPCIS 原始数据，Master 数据，POS 数据），然后对数据过滤技术和数据分析技术及性能指标进行介绍。

#### 13.4.3.1 数据源

**1. EPCIS 原始数据**

EPCIS 事件是存储在 EPCIS 储存库中的数据结构。EPCIS 数据模型主要有四种通用事件类型。能被 EPC 设备检测的“Object Event”，如船只抵达收货台。由于并非总是需要个体 EPC 身份的精细信息，“Quantity Event”可以用来代替产品类型和数量信息，这些信息与扫描条形码所得的详细程度相同。相反，“Aggregation Event”不是某个特定标签的阅读事件，而是多个标签读取事件的聚集。例如，集装架上待运的集装箱。类似地，“Transaction Event”将多个 EPC 与特定的商业交易进行绑定，如订购单。以“Biz Transaction”类型为例，商业文件能够与任何有记录的事件绑定。所有的事件类型都包含事件数据和时间的强制性字段，例如，事件发生的地点，事件发生的环境。这些对象体或实体必须服从该事件。2007 年，EPCglobal 给出了 EPCIS 事件类型的完整描述。这些事件被 Master 数据和 POS 数据补充，并提供相应的商务语境。

**2. Master 数据**

Master 数据通常由供应商或零售商的采购部门提供。他们从商品级水平描述一件产品，例如，每个 Master 数据集定义为特定的欧洲物品编码（EAN）。这与表示个体物品数据的 EPCIS 事件数据相反。尽管对所有产品类型而言，Master 数据记录结构都是相同的，但是单个属性值（如尺寸、颜色编号）的范围是由具体供应商指定的，这就使得产品和类别的比较更复杂。

**3. POS 数据**

POS 数据是使用传统 EAN 编码的条形码捕获的数据。其他的数据属性是由销售人员手工输入。尽管 Master 数据存在，但是因为有些产品也具有适用于所有尺寸的相同 EAN 代码，所以导致尺寸信息的冗余收集。

#### 14.4.3.2 过滤、聚集和富集

产生的数据集如下（见图 13-4）：

1）历史追踪：一件产品的生命周期由 RFID 追踪历史记录，始于配送中心的标签点，结束于出售点的收银台。为了生成历史记录，与标签 ID 相关的读取事件首先按照阅读器的位置被聚集起来，然后按照对应的时间戳顺序来存储，最后转换成一个链接表。在执行流程和库存管理中，追踪历史记录是很有必要的。

2）智能货架库存：随着时间的推移，除了跟踪库存及库存变化（如检测到缺货），智能货架阅读器上读取的数据还能够识别放错位置的货物。

3）试穿：为生成试穿数据，首先聚集试衣间的读取数据，然后对这些数据进行过滤，将滤除掉顾客或员工携带的物品数据和来自附近货物的数据。试穿允许补偿分析、替代品分析和试衣间利用分析。

4）商品性能：为了在销售区域，调查销售、试穿和存货水平之间的关系，在试穿服装时，将试穿事件与销售数据和库存水平结合起来。生成的数据能够对单个产品或整个类别的顾客吸引力和性能进行分析。

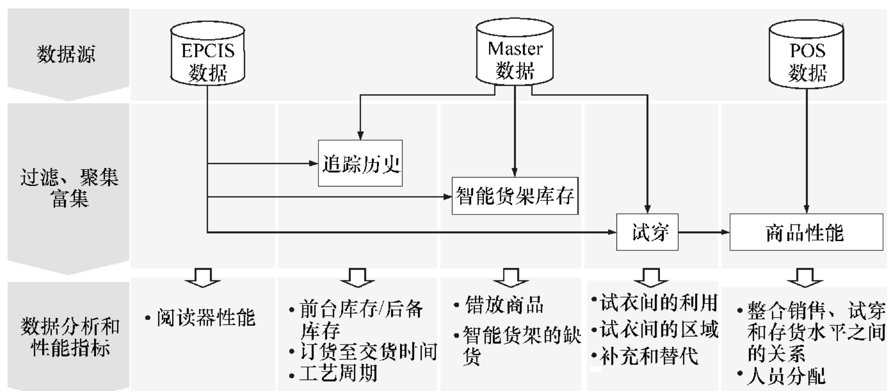



图 13-4　RFID 数据分析和性能指标

#### 13.4.3.3　数据分析和性能指标

使用这些聚合数据进行示范分析，如图 13-5 所示。在数据过滤和富集的过程中，每种商品的销售信息、试穿信息以及库存水平信息和读取事件被合并成一个数据表。利用运筹回归模型分析这些数据，以确定在前台的库存状况，进而得知试穿和销售数量的最佳值，甚至顾客的满意度。利用这些结果，Galeria Kaufhof 能够系统地了解前台存储物品的最优存货状态，从而提高销售量及顾客满意度，同时减少销售区域的物品资金成本。为了优化品类管理，每个商品组别的试穿数量和销售数量被相互联系起来，从而得到销售概率，即销售数量/试穿数量的比值，如图 13-5 所示。通过这些信息，Galeria Kaufhof 能够根据品牌、供应商、颜色和尺寸等数据比较商品与单个商品组，将商品从那些试穿频率较高但却很少买的品类中移除，从而优化产品范围。

在给定时间和日期的条件下，利用跟踪历史记录能够实时得到前台与仓库的存储状况。例如，产生一个商品组级的列表，绘制一年中每一天的衬衣或裤子的库存图表，如图 13-6 所示。这些分析有助于 Galeria Kaufhof 公司分析如下问题：

1）低效率的促销执行（例如，物品过早出现在商店）。

2）无存货及库存积压（当商品无存货或超过一定数量）。

3）存储效率低（商店的仓库库存超过了前台的数量，即补货问题）。

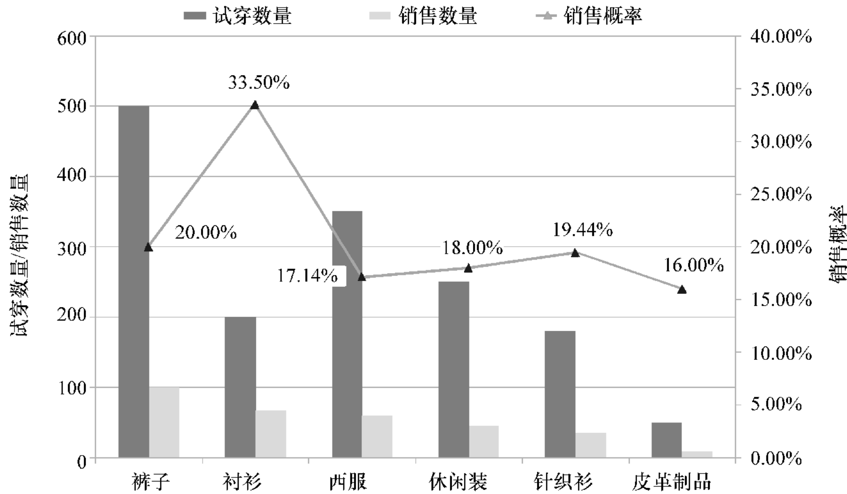



图 13-5　试穿和销售的关系

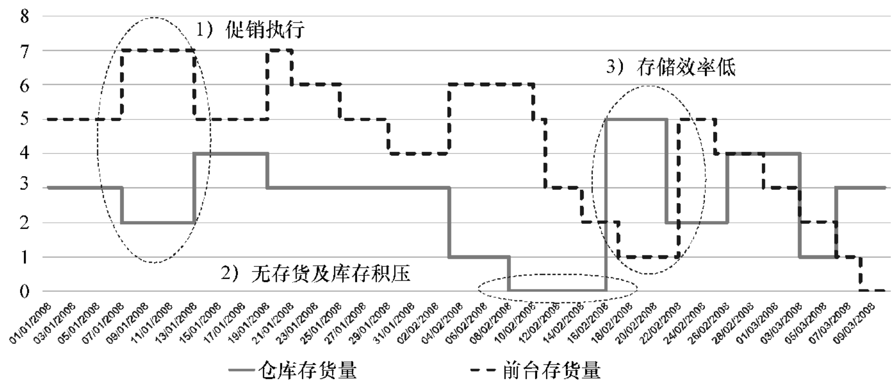



图 13-6　前台与仓库存货量的关系

通过提高前台与仓库部门分配的可视性，这种分析使 Galeria Kaufhof 减少已下架，但仍有库存的商品，这也是销量减少和客户满意度降低的原因，而且这种分析能够帮助检测促销执行的错误（过早出现在销售现场的促销商品）和存储效率低（前台库存少，而仓库库存多）。

除使用过程分析之外，Galeria Kaufhof 还使用 RFID 收集销售区域中的各种试验数据。例如，几周以来，库存水平和产品更新按照预定义的机制周期性地变化，利于研究这些因素对试穿数量和销量的影响。在这些例子中，RFID 不仅仅是一项

便利的技术，更是一个复杂的测量仪器。

### 13.4.4　评价和经验

尽管近年来，Metro Group 和 Galeria Kaufhof 全面地总结了 RFID 技术经验，但是想要能够像 Essen 一样实施和运作 RFID 系统，对 Metro Group 和 Galeria Kaufhof 而言依然是一项挑战。在最初几周，主要完成优化收集数据的质量。当此问题得到解决后，在整个 15 个月的试验时间里，可靠性和性能的评估都得到了肯定的回应。不同位置的 RFID 读取率几乎是 100%，这要归功于纺织品的物理特性以及近场特高频技术和其他先进装备的使用。由于 RFID 阅读器与常规条形码是平行安装的，这使得在 POS 收银台工作的员工必须使用脚踏板人工激活 RFID 读取设备，这是 RFID 阅读器的唯一不足。

基于上述结果和低成本收发器的背景下，把 RFID 作为电子物品防盗系统（EAS）替代品的想法在技术层面上讲是可行的。EAS 甚至被认为是投资回报率（ROI）计算的主要动力。然而，在任何大规模新实施被实际应用之前，很显然，供应链合作伙伴将不得不同意相应的标准。有一个行业层面的标准化活动推荐使用标准的近场特高频应答器而不需要对 EAS 作额外的修改。有了基于 RFID 的 EAS 解决方案，约一半的业务用例将使用该技术。然而，前提是假设所有供应商都采用该技术。

EAS 极高的检测精度使其适用于测试 RFID 对整个部门的库存管理。一方面，安置于仓库区域与销售区域之间的阅读器用来监控在两者之间搬移的商品，从而对销售区域的库存进行估计，这是现有库存管理系统不可能做到的。然后，使用手工检查和 POS 数据对估计值进行验证。结果表明，如果对物品位置信息不做特殊要求，仓库监控是基于智能货架的库存监控的可替代方案，并且可以节约成本。智能货架的阅读器也常被用于分析货架上产品被错放的次数和持续时间。这两种测试结果可以帮助零售商更好地了解仓储过程的性能，同时，结果表明，RFID 为流程转换提供了必要的数据质量，从而导致销售区域的必要任务就由实时信息自动触发。

对于移动设备的使用，该试验首次对于整个分类的库存盘点的 RFID 性能进行了测试。鉴于此，男装部门的所有服装都分别被 RFID 和条形码进行记录。对测量的结果进行比较得知，使用 RFID 平均可以节约超过 87% 的时间。最小的改善是能够观察到散乱悬挂的纺织品。然而，仅当更多的商品被挂在特定的商品夹具上时，RFID 技术的优势才会变得明显。同样，从夹具上取下的商品和需要员工输入尺寸信息的商品能够清晰地展示 RFID 的优势。RFID 的另外一个优势是防止在识别单件商品时，同一个 EAN 代码被多次读取，以免导致库存盘点的不准确。

货物收据和库存计数的批量识别测试表明，相比条形码，RFID 标签更节约时间。与此相反，在 POS 的 RFID 带来的收益是可以证实的，但由于每次购买商品数

量较少，该收益是可以忽略不计的。

除了操作过程的自动化，最引人注意的试验结果来自大量的 RFID 数据和由此带来的管理上的启发。上述 RFID 数据分析提供了许多关于配送物流和客户流程的新见解，例如，跨类别的试穿和销售量之间的差异，商店内的物品流动，试衣间的使用，执行错误的发生次数等。这些信息对供应链的协调和营销具有较高的参考价值。在纺织领域应用中，价值链的垂直整合至关重要。零售商分销的品牌专卖店越多，RFID 的优势则能越快地体现出来。另一个决定性的因素是将现在的特高频应答器用于物流和 EAS 解决方案。精确信息（如库存水平或产品特性）的获取，提供了更多的可能性，使它成为营销不可缺少的重要部分。

另一方面，RFID 数据并不总能提供明确的结果，同时，从分析 RFID 数据到得出结论需要较多的时间。处理收集数据面临的主要问题是 Master 数据的质量。例如，对于某些产品，只有类别层次的信息可用；对于其他产品而言，供应商们对所有可用的尺寸使用一个公用的 EAN 代码。关于管理相关信息的价值讨论导致了另一个问题的出现。不断分析与聚集 RFID 基础设施所采集到的数据以及现场实验和调查的各种报告的需求，得到 Galeria Kaufhof 项目团队的肯定。然而，关于如何组织和量化这些信息对性能的影响，现在还不能给出一个具有普遍意义的答案，原因是缺乏适当的性能指标。例如，分类管理的性能无法作为任一过程指标，而是由各自产品类别的销售总额衡量。同时，Galeria Kaufhof 团队的成员称很难将市场营销相关信息定量化。然而，根据前面对 IT 系统的介绍可知，MIS 比操作系统更难于定量。

### 13.4.5　试验中的经验和教训

Galeria Kaufhof 的 RFID 案例提供了很多与管理相关的实践经验。一方面，传统信息系统（IS）开发中常被引用的熟知的因素如高管层的支持、培训等，同样适用于 RFID 实施。另一方面，有些教训是需要详细考虑的。为了突出与先前研究相比的创新性，首先将我们的研究发现与 2003 年 Galeria Kaufhof 进行的 RFID 试验结果进行对比。Loebbecke 和 Palmer 首次提出了 Loebbecke 的概念，探讨了 2003 年的试验结果，即“RFID 的 5 个 P”：物理、价格、流程、性能以及隐私。本节，我们强调 Galeria Kaufhof 试验对公司使用 RFID 的态度的转变。其次，我们建议补充使用“集成 RFID 的 4 个 I”：集成、解释、互操作性和参与。补充的四种类别使我们能够从全集成系统的研究中，进一步讨论实际内涵。

**经验 1：物理**

正如 Galeria Kaufhof 对这次试验所预料的，读取速率低的问题仍需解决。然而，依靠现有的科技是可以实现几乎百分之百的读取速率，甚至在仓库与销售区域之间过渡区域的阻塞点也可以实现，大量标签同时穿过射频场，应答器与天线之间

具有不同的角度。

**经验 2：价格**

2007 年，近场特高频内置应答器的价格约为 0.07 欧元，它能够集成在附属于商品的条形码标签中。尽管价格一直下降，应答器仍是供应链上实施 RFID 的 ROI 计算的主导因素（与闭环系统相比）。然而，根据 Galeria Kaufhof 的观点，当前市场上应答器的价格较低，使得基于 RFID 的 EAS 解决方案在经济上是可行的，特别是防盗功能驻留在软件中而不是标签的先决条件下。虽然 EAS 系统不能独自构成取代现有技术的“杀手级应用”，但是从长远看，它可能成为物品级 RFID 广泛传播的动力。

**经验 3：流程**

通过对比基于条形码和基于 RFID 的库存盘点，Galeria Kaufhof 对能改善运营规模的因素（如产品类型、RFID 标签的位置、商品夹具等）有了新的认识。对比结果显示，由于营业员无需再把衣服从货架上取下来查看条形码标签，RFID 能大大提高服装分类的进度。然而，为了保证能够及时找到衣物，需要确认所有服装都配备了应答器。此外，为便于销售人员的工作，Galeria Kaufhof 百货商店在此次试验中首次使用基于 RFID 的移动应用程序。这些设备提供的搜索功能获得了高度好评，并且减少了非增值行为。因此，RFID 技术不仅可以节约成本，还能作为一种提高服务的技术。第三，Galeria Kaufhof 研究如何将 RFID 作为一种测量仪器来使用，在存储过程中产生更多详细信息。Galeria Kaufhof 得到的经验是，除非有自动数据收集技术提供必要的数据，否则不能得知零售流程执行的真实情况。因此，RFID 可作为一种工具用于检测现有方式的低效以及持续控制所提出的对策的有效性。

**经验 4：性能**

除作为“订货至交货的时间”、“劳动力成本节约度”、“数据质量”等性能指示器外，在本次试验中 RFID 技术还为操作流程产生新的性能衡量指标，如用于单个商品或者整个类别的上架服务量，错位频率，详尽的产品历史等。另外，试验表明 RFID 与 POS 数据的结合可以监控销售区域的活动，比如提醒补货等。

**经验 5：隐私**

在早期的试验中，隐私风险和压力集团的行动是美国和欧洲的主要问题。许多评论员担心零售商会将顾客信息与产品链接，甚至在交易之后进行追踪顾客信息。网络抵制运动、个体试验的抗议活动和媒体的负面报道影响着世界各地的许多公司。在早期的试验中，应答器通常会在收银台处被取消，以消除顾客对于隐私的担忧。在本次试验中，Galeria Kaufhof 通过高度可见的胶贴标签、图标、印刷在应答器标签上的说明指示和免费宣传册的方式主动通知顾客 RFID 技术的使用。只有确认退货商品时，应答器才会从商品上取下来。在整个试验阶段，Galeria Kaufhof 几

乎没有收到什么负面的反应。

**经验 6：集成**

除优化操作过程之外，下面的例子阐释了 RFID 作为一个综合的数据收集基础设施的优势。根据这些数据得出结论，2007 年，Loebbecke 通过一个智能衣架的虚拟例子阐释这个结论："如果一位顾客在 5 秒钟后将上衣放回到衣架上，这表示她可能不喜欢衣服的质地；如果顾客在 5 分钟后将衣服放回，则表示她试穿了该衣服。"然后，Galeria Kaufhof 的试验是零售商首次在该技术使用中探索。案例研究表明，RFID 提供的数据质量和详细程度考虑到对产品历史、顾客行为、仓储物流、商品性能的不同分析。该案例支持并提升了利用现有数据已明确的技术应用，另外的发现是出现了新的技术应用。此外，相同的数据可以用来实现新的顾客应用和支持商品的销售，例如，搜索满足特定条件的产品。对于收集的数据具有多种处理方法，零售商未来的挑战是运用这些新方法增加销售额以及增加顾客的满意度。

**经验 7：解释**

从 Galeria Kaufhof 项目得出的另一经验是，如果 RFID 数据不与其他操作系统协作，实现标签 ID 与产品信息和业务事件的链接，那么它自身没有太多价值。RFID 读取设备的输出不应该被误认为是有用的数据，因为在任何数据在被分析和理解之前，需要对它进行进一步的过滤和富集。

**经验 8：互操作性**

在早期的试验中，除了 ISO 15693 空中接口标准外，并不存在相关的 RFID 标准。由于配备了 RFID 的物品缺少常见编号机制，是无法实现整个商店商品级的分类管理。因此，早期试验受到同一个供货商提供商品的约束。即使在今天，RFID 仍然不是一个即插即用的技术，还需大量的努力，以达到期望的性能水平和数据质量。但是，并非 EPC 协议中一系列标准的出现促使 Galeria Kaufhof 建立基础设施的。一方面，标准增加了单个零件的互操作性。因此，掌握广泛的 RFID 知识，从而有效地来处理诸如 RF 干扰等问题就显得不是那么重要了。另一方面，标准导致组织内部和组织之间的互操作，这可能会在未来带来更多的收益。所以，即使是那些以生产孤立的 RFID 加工品而起步的公司也应该追寻一种被广泛认可的业界标准的、以基础设施为中心的方案。

**经验 9：参与**

Galeria Kaufhof 试用个案论证了供应商和其他不同组织单位成员参与的必要性。例如，通过对员工的调查，Galeria Kaufhof 就能够得知如何提高移动设备性能。一个员工发表了一个有趣的陈述，不应该在顾客面前使用移动设备，因为对电子产品的依赖可能是被视为无能的表现。移动设备的功能应该根据用户的个性化需求量身定做。同样，各个公司也应该意识到，从商业角度来讲，仅仅是数据的可用性就已

经是不容易解释的了。因此，除了技术专家以外，还需要包括其他个体的项目团队。Galeria Kaufhof 项目还表明了在 RFID 事件数据、Master 数据和其他产品相关的数字内容方面，销售商和供应商之间紧密合作的必要性。若要达到与供应商合作的理想水平，其前提条件是零售商将其数据分享。

## 13.5 结论

从技术层面分析，项目使用了最新的应答器技术（UHF），以及实现集成的 RFID 系统的接口标准，该项目具有较高的创新。甚至在阻塞点处，都可能实现几乎 100% 的读取率。Galeria Kaufhof 的 RFID 项目为 Galeria Kaufhof 研究探讨 RFID 投资与经营和管理过程影响之间的不同关系提供了独特机会，进而提高对零售业中 RFID 商业价值的理解。

改善物流库存流程以及客户服务流程的各种可能性，在该项目实施过程中都可进行验证。这些改善包括 RFID 功能的库存计数、加快收货流程及移动设备的销售支持等。除了对操作层面的自动化影响，通过举例说明 RFID 技术对百货公司管理的影响，证实了该项目超越了早期的试验。RFID 系统作为一种完全自动化的测控仪器，能够为销售区域提供库存状况、时间周期、补货质量、试穿数量（从单品层面以及整个类别层面）以及试穿服装的款式等信息。此外，试验表明，通过提供更高的透明度，RFID 有助于关闭货物收取和百货商店 POS 之间存在的“数据空白”。因此，该技术有助于发现目前还不清楚的低效率进程，并相应地控制有效的对抗措施。另外，RFID 技术不仅有助于降低成本，还可以提高销售的服务质量和服务流程的质量。

在 2007 年，尽管 RFID 应答器的价格下降到 0.07 欧元，标签价格的降低仍是下降成本的最大动力。这个价格考虑了基于 RFID 技术的 EAS 在价格上的经济合理性，这将成为 RFID 技术在产业中被广泛采用的决定性动力。

尽管 RFID 应答器的价格将进一步降低，但是，一旦 RFID 应答器嵌入在服装的标签中，RFID 技术在服装零售业的应用将面临着多方面的挑战，如技术、业务及隐私相关等。技术上的挑战包含调整 RFID 阅读器的读取范围、数据过滤（净化）以及与进一步处理数据的充分算法聚合。对于业务上面临的挑战，零售商必须找到数据采集和分析与 RFID 阅读器及其安装投资之间合适的折中。业务驱动 RFID 的设备将会取代创新驱动的基础设施。零售商必须知道他们到底想要什么，或者他们想改善什么，然后安装 RFID 阅读器进行相应的调整。最后，隐私安全问题会成为更大的挑战。在 2007/2008 年度中，Galeria Kaufhof 决定通过高度可见的胶贴标签、图标、印刷在应答器标签上的指示说明以及免费宣传册的方式主动向顾

客介绍 RFID 技术。只有确认退货商品时，应答器才会从商品中取下来。在整个试验阶段，Galeria Kaufhof 几乎没有收到什么负面的反应。目前还不能完全确定这是公司的开放性交流政策的结果，还是顾客对 RFID 技术的认知结果。另一个可能的解释是，尽管近年来媒体不断报道 RFID 的隐私安全问题，但从来没有真正引起公众共鸣。但是，集成的 RFID 系统实施有可能引发第二次反 RFID 活动浪潮，再次加剧隐私风险的争议。

# 参考文献


Al-Kassab J, Lehtonen M, Michahelles F (2008) D5.4. Anti-counterfeiting prototype report, Deliverable of the EU-BRIDGE project, Project no. 033546, pp 1–63

Amini M, Otondo RF, Janz BD, Pitts MG (2007) Simulation modeling and analysis: a collateral application and exposition of RFID technology. Prod Oper Manage 16(5):586–598

Angeles R (2005) RFID technologies: applications and implementation issues. Inf Syst Manage 22(1):51–65

Asif Z, Mandviwalla M (2005) Integrating the supply chain with RFID: a technical and business analysis. Commun Assoc Inf Syst (AIS) 15(24):1–57

Auto-ID Labs (2003) White paper: beyond the EPC™ – making sense of the data proposals for engineering the next generation intelligent data network. http://www.autoidlabs.org/uploads/media/MIT-AUTOID-WH024.pdf. Accessed on 10 February 2010

Bamfield J (2004) Shrinkage, shoplifting and the cost of retail crimes in Europe: a cross-sectional analysis of major retailers in 16 European countries. Int J Retail Distrib Manage 32(5):235–241

Barney JB (1991) Firm resources and sustained competitive advantage. J Manage 17(1):99–120

Barratt M, Choi T (2007) Mandated RFID and institutional responses: cases of decentralized business units. Prod Oper Manage 16(5):569–585

Bharadwaj A (2000) A resource-based perspective on information capability and firm performance: an empirical investigation. MIS Q 24(1):169–196

Bhatt GD, Grover V (2005) Types of information technology capabilities and their role in competitive advantage: an empirical study. J Manage Inf Syst 22(2):253–277

BRIDGE (2007) D7.1 – supply chain management in the European textile industry, deliverable D7.1 of the EU-funded research project "Building Radio frequency Identification solutions for the Global Environment" (BRIDGE). Project no. 033546, August 2007

BRIDGE (2009) BRIDGE Overview brochure of the EU-funded research project "Building Radio frequency Identification solutions for the Global Environment" (BRIDGE). Project no. 033546, September 2009

Brown SA (1997) Revolution at the checkout counter. Harvard Business Review Press, Cambridge, MA

Cangialosi A, Monaly JE Jr, Yang SC (2007) Leveraging RFID in hospitals: patient life cycle and mobility perspectives. IEEE Appl Pract 45:18–23

Christopher M, Lowson R, Peck H (2004) Creating agile supply chains in the fashion industry. Int J Retail Distrib Manage 32(8):367–369

Cole PH, Ranasinghe DC (2008) Networked RFID systems and lightweight cryptography: raising barriers to counterfeiting. Springer, Heidelberg

Curran K, Porter M (2007) A primer on radio frequency identification for libraries. Libr Hi Tech 25(4):595–611

Curtin J, Kauffman RJ, Riggins FJ (2007) Making the "most" out of RFID technology: a research agenda for the study of the adoption, usage and impact of RFID. Inf Technol Manage 8(2): 87–110

Delen D, Hardgrave BC, Sharda R (2007) RFID for better supply-chain management through enhanced information visibility. Prod Oper Manage 16(5):613–624

Deloitte (2008) 2008 Global powers of retailing, Deloitte Touche Tohmatsu LLC. http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Global/LocalAssets/Documents/dtt_globalpowersretailing.pdf. Accessed on 9 November 2009

EPCglobal (2007) EPC information services (EPCIS) version 1.0.1 specification. http://www.epcglobalinc.org/standards/epcis/epcis_1_0_1-standard-20070921.pdf. Accessed on 9 November 2009

Ellram L, La Londe BJ, Weber MM (1999) Retail logistics. Int J Phys Distrib Logistics 29(7/8):477–494

Falk (2005) Technology corner, temple of the computer. Electron Libr 23(2):244–248

Gagnon JL, Chu JJ (2005) Retail in 2010: a world of extremes. Strategy Leadersh 33(5):13–23

Gaukler GM, Hausman WH (2008) RFID in mixed-model automotive assembly operations: process and quality cost savings. IIE Trans 40:1083–1096

Gaukler GM, Seifert RW (2007) Applications of RFID in supply chains. In: Jung H, Chen FF, Bongju J (eds) Trends in supply chain design and management: technologies and methodologies. Springer, Heidelberg, pp 29–48

Gigalis GM, Kourouthanassis P, Tsamakos A (2002a) Towards a classification framework for mobile location services. In: Mennecke BE, Strader TJ (eds) Mobile commerce: technology, theory, and applications. Idea Group, Hershey, PA, pp 64–81

Gigalis GM, Pateli A, Fouskas K, Kourouthanassis P, Tsamakos A (2002b) On the potential use of mobile positioning technologies in indoor environments. In: Proceedings of the 15th bled electronic commerce conference, Bled, Slovenia, pp 413–429

Haberman AL (2001) 17 billion reasons to say thanks. In: Habermann AL (ed) Twenty-five years behind bars. Harvard University Press, Cambridge, MA, pp 113–151

Heese HS (2007) Inventory record inaccuracy, double marginalization, and RFID adoption. Prod Oper Manage 16(5):542–553

Heim GR, William RW Jr, Peng DX (2009) The value to the customer of RFID in service applications. Decis Sci 40(3):477–512

Hicks LE (1975) The universal product code. AMACOM, New York, NY

Hou J-L, Huang C-H (2006) Quantitative performance evaluation of RFID applications in the supply chain of the printing industry. Ind Manage Data Syst 106(1):96–120

Hozak K, Collier DA (2008) RFID as an enabler of improved manufacturing performance. Decis Sci 39(4):859–881

IDTechEx (2005) RFID progress at Wal-Mart. http://www.idtechex.com/products/en/articles/00000161.asp. Accessed 5 February 2009

Karaer Ö, Lee HL (2007) Managing the reverse channel with RFID-enabled negative demand information. Prod Oper Manage 16(5):625–645

Kärkkäinen M (2003) Increasing efficiency in the supply chain fort short shelf life goods using RFID tagging. Int J Retail Distrib Manage 31(10):329–336

Kaufhof (2009) Kurzporträit. http://www.galeria-kaufhof.de/sales/unternehmen/unternehmen/daten-fakten.asp. Accessed on 9 November 2009

Kelly EP, Erickson GS (2005) RFID tags: commercial applications v. privacy rights. Ind Manage Data Syst 105(6):703–713

KPMG (2005) Vertikalisierung im Handel. Auswirkungen auf die zukünftige Absatzwegestruktur. http://www.ihkschleswigholstein.de/produktmarken/starthilfe/anhaengsel/handel/Vertikalisierung_im_Handel_de.pdf. Accessed 24 June 2009

Langer N, Forman C, Kekre S, Scheller-Wolf A (2007) Assessing the impact on RFID on return center logistics. Interfaces 37(6):501–514

Lee HL, Özer Ö (2007) Unlocking the value of RFID. Prod Oper Manage 16(1):40–64

Lehtonen M, Al-Kassab J, Michahelles F, Kasten O (2008) D5.3. Anti-counterfeiting business case report, Deliverable of the EU-BRIDGE project. Project no. 033546, pp 1–79

Lehtonen M, Michahelles F, Fleisch E (2007) Trust and security in RFID-based product authentication systems. IEEE Syst J, Special Issue RFID Technol Oppor Challenges 1(2):129–144

Li S, Visich JK (2006) Radio frequency identification: supply chain impact and implementation challenges. Int J Integr Supply Manage 2(4):407–424

Loebbecke C (2004) Modernizing retailing worldwide at the point of sale. MIS Q Exec 3(4):177–187

Loebbecke C (2007) Piloting RFID along the supply chain: a case analysis. Electron Mark 17(1):29–37

Loebbecke C, Huyskens C (2008) A competitive perspective on standard-making: Kaufhof's RFID project in fashion retailing. Electron Mark 18(1):30–38

Loebbecke C, Palmer JW (2006a) RFID in the fashion industry: Kaufhof department stores AG and Gerry weber international AG, Fashion Manufacturer. MIS Q Exec 5(2):15–25

Loebbecke C, Palmer JW (2006b) A real-world pilot of RFID in the fashion industry: Kaufhof and Gerry weber in Germany. Academy of Management Annual Meeting (OCIS Division), Atlanta, GA

Manthou V, Vlachopoulo M (2001) Bar-code technology for inventory and marketing management systems: a model for its development and implementation. Int J Prod Econ 71(1–3):157–164

Mata FJ, Fuerst WL, Barney JB (1995) Information technology and sustained competitive advantage: a resource-based analysis. MIS Q 19(4):487–505

Melville N, Kraemer K, Gurbaxani V (2004) Information technology and organizational performance: an integrative model of IT business value. MIS Q 28(2):283–322

Menor LJ, Tatikonda MV, Sampson SE (2002) New service development: areas for exploitation and exploration. J Oper Manage 20(2):135–157

Metro AG (2009) www.future-store.org. Accessed on 9 November 2009

Metro Group (2007) Annual report 2007. www.metrogroup.de/servlet/PB/menu/1152880_l2_ePRJ-METRODE-MICROSITE-MAINPAGE/index.html. Accessedon 9 February 2010

Metro AG (2005) RFID im Praxiseinsatz: Ein Pilotprojekt von Kaufhof und Gerry Weber. Metro Group Future Store Initiat 1–43

McAfee A, Sjoman A, Dessain V (2004) Zara: IT for fast fashion. Harvard Business, Harvard

Michael K, McCathie L (2005) The pros and cons of RFID in supply chain management. In: Proceedings of the international conference on mobile business (ICMB'05), Sydney, Australia, pp 623–629

Moon KL, Ngai EWT (2008) The adoption of RFID in fashion retailing: a business value-added framework. Ind Manage Data Syst 108(5):596–612

Nagy P, George I, Bernstein W, Caban J, Klein R, Mezrich R, Park A (2006) Radio frequency identification systems technology in the surgical setting. Surg Innov 13(1):61–67

Nelson JE (2001) Scanning's silver celebration. In: Haberman AL (ed) Twenty-five years behind bars. Harvard University Press, Cambridge, MA, pp 25–33

Ngai EWT, Suk FFC, Lo SYY (2008) Development of an RFID-based sushi management system: the case of a conveyor-belt sushi restaurant. Int J Prod Econ 112(2):630–645

Ngai EWT, Cheng TCE, Lai K-h, Chai PYF, Choi YS, Sin RKY (2007) Development of an RFID-based traceability system: experiences and lessons learned from an aircraft engineering company. Prod Oper Manage 16(5):554–568

Nikitin PV, Rao KVS, Lazar S (2007) An overview of near field UHF RFID. In: Proceedings of the IEEE RFID 2007 conference, Grapevine, TX, pp 1–8

Peppard J, Ward J (2005) Unlocking sustained business value from IT investments. Calif Manage Rev 48(1):52–69

Peppard J, Ward J, Daniel E (2007) Managing the realization of business benefits from IT investments. MIS Q Exec 6(1):1–11

Pommer MD, Berkowitz EN, Walton JR (1980) UPC scanning: an assessment of shopper response to technological change. J Retailing 56(2):25–44
Prater E, Frazier G, Reyes PM (2005) Future impacts of RFID on e-supply chains in grocery retailing. Supply Chain Manage Int J 10(2):134–142
Reyes PM, Frazier GV (2007) Radio frequency identification: past, present, and future business applications. Int J Integr Supply Chain Manage 3(2):125–134
Roth AV, Menor LJ (2003) Insights into service operations management: a research agenda. Prod Oper Manage 12(2):145–164
Samli C (2004) Up against the retail giants: targeting weakness, gaining an edge, 1st edn., Thomson, Mason, USA
Santhanam R, Hartono E (2003) Issues in linking information technology capability to form performance. MIS Q 27(1):125–153
Song J, Haas CT, Caldas C, Ergen E, Akinci B (2005) Automating the task of tracking the delivery and receipt of fabricated pipe spools in industrial projects. Automation Constr 15(2):166–177
Srivastava L (2007) Radio frequency identification: ubiquity for humanity. ITU 9(1):4–14
Tajima M (2007) Strategic value of RFID in supply chain management. J Purch Supply Manage 13(4):261–273
Thiesse F, Al-Kassab J, Fleisch E (2009) Understanding the value of integrated RFID systems: a case study from apparel retail. Eur J Inf Syst 18:592–614
Thiesse F, Fleisch E (2008) On the value of location information to lot scheduling in complex manufacturing processes. Int J Prod Econ 112(2):532–547
Tzeng SF, Chen WH, Pai FY (2008) Evaluating the business value of RFID: evidence from five case studies. Int J Prod Econ 112(2):601–613
Venables M (2005) Analysis: RFID – don't believe the hype. IEE Manuf Eng 84(5):8–9
Wang L-C (2007) Enhancing construction quality inspection and management using RFID technology. Automation Constr 17(4):467–479
Wang SW, Chen WH, Ong CS, Liu L, Chuang YW (2006) RFID applications in hospitals: a case study on a demonstration RFID project in a Taiwan hospital. In: Proceedings of the 39th Hawaii international conference on systems science, Los Alamitos, CA, pp 1–10
Wessel R (2007) Metro group's Galeria Kaufhof launches UHF item-level pilot, RFID Journal. www.rfidjournal.com/article/articleprint/3624/-1/1. Accessed on 10 February 2010
Wheatley M (2008) Learning to track ROI, Data collection technologies offer true business value – if you know where to look. Manuf Bus Technol 26(9):28–30
Wyld DC (2008) Death sticks and taxes: RFID tagging of cigarettes. Int J Retail Manage 35(7):571–582
Wyld DC (2006) RFID 101: the next big thing for management. Manage Res News 29(4):154–173
Yu S-C (2007) RFID implementation and benefits in libraries. Electron Libr 25(1):54–64
Zhu K (2004) The complementarity of information technology infrastructure and e-commerce capability: a resource-based assessment of their business value. J Manage Inf Syst 21(1):167–202

# 第 14 章　RFID 技术在纺织和服装产业中的应用潜力：机遇、需求和挑战

Elena Legnani，Sergio Cavalieri，Roberto Pinto，Stefano Dotti

**摘要**：在当前激烈竞争的环境下，企业需要广泛开发先进的技术，发展可持续的优势，提高运作效率的同时更好地服务客户。在本章中，RFID 技术作为公司发展的有力支持而涌现，并且其价值也越来越突出。特别是，具有生产周期短、生产响应快、配送迅捷、客户喜好不稳定和购买冲动等特点的纺织服装业，极大受益于 RFID 技术的应用。但是，这项技术的实际应用仍然有限，尤其是在供应网络的上游。本章深入分析了 RFID 技术的优势及其发展潜力，并总结了抑制该技术在纺织业和服装行业中大规模应用的主要原因。同时，本章介绍了两个产学合作项目的经验和相关的实验结果。

## 14.1　引言

在过去的几年里，有关 RFID 技术的争论有以下几种观点：

1）RFID 技术的应用潜力激发了各企业对该技术的热情，部分企业强制推行 RFID 标签，如沃尔玛、美国防御部门和麦德龙、特斯科等欧洲公司。

2）对顾客隐私侵犯的关注。

3）许多专家认为，由于经济和管理方面的阻碍还未克服，RFID 的广泛应用还需很长时间。

4）当前的硬件成本。与传统的低成本的条形码相比，大规模推广的成本较高。

然而，几乎每一个人都认为该技术已经成熟并可以投入使用，这也意味着传统商业领域将会发生重大的变革。例如，使用 RFID 实时地收集商品信息，这是传统的条形码不可能做到的。

“物联网”是 RFID 的未来愿景。物联网是一种开放性计算机网络和物品网络，它能够随时随地识别和跟踪在全球供应链上流动的物品。

以纺织和服装产业为例的传统产业广泛应用 RFID 技术，并获得了理想的收益。它是一个多样化的异构产业，涵盖了多个产业：从纤维到纱线和织物再到各种各样的成品，例如高科技合成纤维、床上用品、工业过滤器，用于土壤保护和加固

的地质纤维，服装等。

由于纺织和服装产业的固有特性，RFID 技术必将成为维持市场竞争动态、巩固整个网络中供应层组织内部和组织之间关系的有效、适当的支撑技术。

基于上述理由，本章将深入分析 RFID 技术的优势和潜力，并重点阐述目前阻碍该技术在具体产业中大规模应用的主要原因。

本章结构安排如下。14. 2 节详细描述了在不同层次之间进行信息和知识交流方面，纺织和服装产业的供应网络及主要需求。14. 3 节介绍 RFID 如何有效支持供应网络中的需求，同时定义了该技术将会带来的机遇和面临的问题。14. 4 节是来自两个产学项目的有关经验和教训。14. 5 节进行总结。

## 14. 2　纺织和服装产业供应网络的结构、流程和需求

纺织和服装产业是欧洲制造产业的重要部分，同时，对欧洲多个地区的经济和社会福利起着至关重要的作用。根据欧洲委员会提供的最新结构数据，2006 年有 22 万家公司雇用了 250 万人，创造了 1900 亿欧元的营业额，占欧洲制造业总值的 3% 。纺织和服装产业主要是由中小型企业组成，少于 50 人的雇员却占用了超过 90% 的劳动力，并创造了近 60% 的价值。

最大的纺织和服装生产国有意大利、法国、英国、德国和西班牙。这些国家的服装生产量约占欧洲纺织和服装总产量的 3/4。欧洲的纺织和服装行业是占据世界出口市场的两大巨头之一。仅次于占据世界出口总量 40% 的中国，欧洲以 29% 的外贸出口量成为世界第二大出口贸易地区（不包括欧盟成员国之间的贸易）。

尽管数据是乐观的，但是由于与第三世界国家的市场接触受限，较低的经济门槛便可进入该技术领域，以及来自其他国家的竞争压力越来越大，使得欧洲的就业率面临很大起伏。同时，化工纺织化合物的巨大进步使得化工公司受到青睐。

面对这种状况，欧洲纺织业提议以需求为导向的生产方式，提供高质量客户化和响应。这就需要彻底改变管理思维，从而有效地管理不同类型的纤维织物和补充物。例如，西班牙公司 Inditex 旗下的一个服装连锁品牌 Zara 具有理想的财务状况，这是由于其具有核心竞争力，提供了比传统零售商更强的竞争优势。Zara 能够通过与供应商的技术策划协调、即时生产、物流微调以及垂直一体化结合战胜竞争对手，并获得良好的社会反响。

通过内部生产，Zara 能够灵活地决定产品的款式、数量及新款式的更新频率等。此外，85% 的产品的生产都是在一个季节内能完成的，保证服装连锁店能够不断地向客户提供最新设计，而零售商在这方面就缺乏了灵活性。

关于意大利的纺织和服装产业，在小众市场中意大利的公司一直保持主导地位。在奢侈品市场中，意大利公司占据了世界 40% 的市场份额。其成功的关键因

素是：①网络内部互连，尤其是设计、生产和分销流程之间互连；②创新型、高品质产品的引进；③对客户需求的具体响应。

在全球竞争的环境下，研究、创新是进一步开发纺织和服装产业的关键因素。

信息技术在实现人、信息和产品的集成过程中起到重要的作用，包括工程和生产过程的管理。此外，以执行机构和传感器为代表的智能产品，和以全球定位系统（GPS）和 RFID 标签为代表的标签技术的广泛应用，促进了新的制造业和提供动态受控供应链网络的物流流程的出现。

## 14.2.1　纺织品和服装供应网络

纺织品和服装的供应网络结构复杂，它包含了若干独特的流程，特别是制造和加工周期。如图 14-1 所示，网络始于对原材料（化学纤维或者天然纤维）的处理，历经半成品（线、纱、布、针织物）到成品，然后被发送到销售点，供顾客购买。

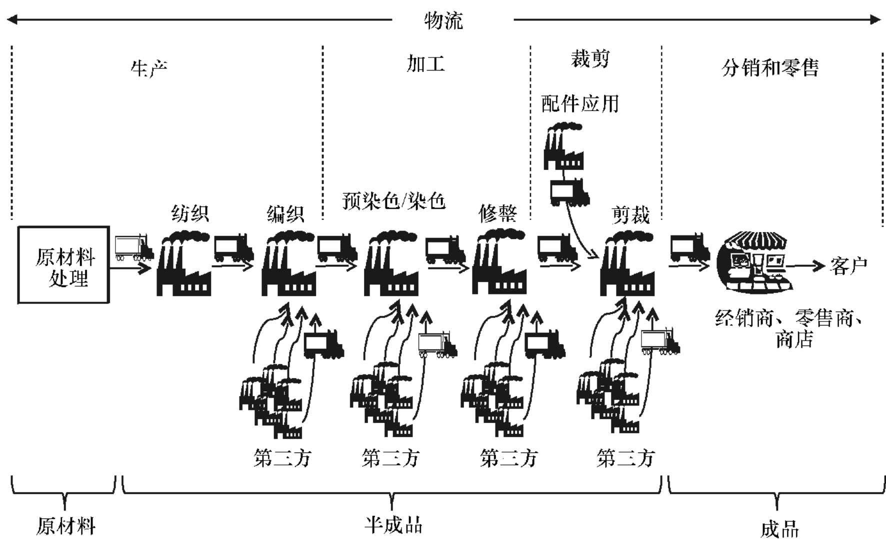



图 14-1　纺织品和服装供应网络

由于网络由若干相互关联的环节组成，各个环节之间错综复杂的关系增加了网络的复杂性。通常，每个流程由不同外包公司完成。此外，成品的运输和分发由外部物流公司管理。

在纺织品和服装供应网络中，定义了 4 个主要流程：

1）生产（M）——生产工序范围从原材料处理到编织（见表 14-1）。

2）加工（P）——对半成品进行处理，例如预染色、染色、修整（见表 14-2）。

表 14-1　生产阶段的子过程

| | |
|---|---|
| 原材料处理 | 使用纺织、编织机器提取和处理纤维，使其具有较高的清晰度、柔韧性、高长度/直径比 |
| 纺织 | 纺织纤维获得线或者纱线 |
| 编织 | 通过织布机编织线或者纱线形成纺织品 |

表 14-2　加工阶段的子过程

| | |
|---|---|
| 预染色 | 在编织过程中，预先清洗纤维表面，使其得到可以使用的纤维 |
| 染色 | 用染料处理的方式赋予纺织产品颜色时需要利用不同的技术，这些技术的使用取决于纺织物的特性或者所需要达到的效果 |
| 修整 | 这些处理旨在使纺织物在外形、材质以及工艺上达到消费者所要求的特性 |

3）裁剪（T）——一种将纺织物转变成产品的缝制和熨烫技术。如：

—服装、针织或编织物（所谓的“服装业”）。

—地毯和其他覆盖地板的纺织品。

—居室纺织品（如床单、桌布、卫生间用织物、厨房用织物、窗帘等）。

—工艺纺织品（高科技产品，如高韧性纱制品、特质松紧带或涂层织物等）。

在这个流程中用到了许多配件（如纽扣、拉链、鞋扣等）。

4）分销和零售（DR）——包括成品的分销和销售点的管理。配送中心可以将产品直接配送到商场，也可以通过经销商、零售商和商店中介配送。销售点则进行产品分类、产品处理和产品的上架或下架、产品供应响应以及现场盘存管理。

物流在整个流程中也起到根本性作用。它贯穿整个网络并影响上述宏观流程。物流负责产品的配送运输等，如把产品配送到或者调离出第三方合作者、公司、仓库以及对原料的搬运和包装等。

## 14.2.2　主要需求

如前所述，纺织和服装产业具有产品种类繁多、生命周期短、季节性强、可操作性高、购买冲动和物流运作复杂等特点。供应网络是多层面的，含有多种复杂材料和信息流，以及许多供应链层和众多参与者在全球范围内的协调统筹。

此外，为维持可持续的竞争力水平，企业需要开拓市场，旨在全球范围内供应资源，实现新产品和新服务的持续以及系统的发展。显然，这种严峻的趋势进一步增加了纺织品和服装机构的复杂性。

然而，大多数公司，尤其是中小型企业，并没有意识到，通过采用适当的物流和技术体系能够获得极大的机会。这些工具能够成为管理复杂业务以及在市场生存的杀手锏。

针对该技术（如 RFID 技术）对业务发展的影响，许多意大利纺织和服装企业的销售和业务经理接受了采访，并制定如下列表。该列表能够对纺织领域中影响企业经营的一些关键环节进行处理。企业需要独特的产品认证，以满足以下需求。

1）跟踪产品——能够在网络中准确定位某个产品的位置。

2）准确追溯产品信息——在网络的任意层上创建物品的“物流历史”。

3）快速、自动、高效的数据管理。

4）自动、高效的生产管理和操作流程，用以减少人为错误和库存缺货现象。

5）维护意大利品牌，保护创造力、研究和创新能力，稳固产品在国内和国际的地位。

6）抵制盗窃和伪造产品，特别是高价商品。伪造是指非法使用注册商标或故意模仿产品的外部特征。

7）遏制和控制黑市——通过非官方、未授权的分销渠道进行产品贸易。这意味着①没有注册商标的纺织品以及其他产品利用与合法产品近似的外观或者相似的商标混淆消费者；②利用纺织品生产许可进行非法过量生产。

8）为消费者提供更多体验。

根据网络宏观流程的解决方案所产生的影响对各种需求进行分类，如图 14-2 所示。

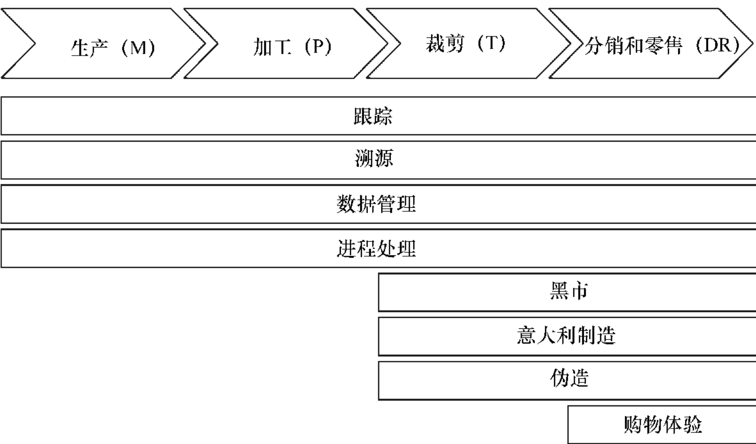



图 14-2　纺织品和服装网络中主要需求分类

完成不同的需求需要不同的数据。例如，生产过程中的产品认证需要技术资料以确保质量可靠，同时，售卖过程中的产品认证需要商业和广告数据以提供令人兴

奋的购物体验。尽管如此，必要数据的精确认证依赖于实施该技术的公司的特殊需求。业务规范有助于 RFID 数据的搜集。

本节没有对在纺织品和服装网络中收集的 RFID 具体数据进行详细分析，感兴趣的读者可参阅 Niederman 等人对从业人员可能要面临的问题而开展的专题报告。

尽管如此，很有必要强调数据收集周期和数据使用周期的区别。前者主要强调技术，后者主要强调从原始数据中提取的信息的意义和价值。信息流的管理是任何实施 RFID 技术机构所存在的关键问题。这些问题不仅受 IT 基础设施实施的限制，还受限于对所捕获数据的正确理解，数据的正确分析可以得出正确的信息和认识。鉴于此，有必要提及商业智能领域的新发展，为确保高效的数据开发，这些新发展带动了方法和技术的发展。

## 14.3　纺织和服装产业中采用 RFID 技术面临的机遇与问题

在网络中的每一个环节中，在高度协调、信息共享、部分流程自动化和透明度等过程中都能够遇到上述问题。由此而论，RFID 技术能够有效解决这些需求。

一篇关于在纺织和服装产业中 RFID 系统应用的科学文献指出，尽管 RFID 是一种较新的技术，但越来越多的企业意识到它的潜力。相关研究文献见表 14-3。

**表 14-3　有关 RFID 应用的文献**

| 需求 | 文　献 |
|---|---|
| 跟踪 | Metro（2003）；Newstex（2007）；Singh 等（2008） |
| 溯源 | Angeles（2005）；Chappell 等（2002）；Choy 等（2009）；Loebbecke and Huyskens（2006）；Sullivan（2005）；Wildin gand Delgado（2004） |
| 数据管理 | Angeles（2005）；Chappell 等（2002） |
| 进程处理 | Angeles（2005）；Collins（2006）；Hogan（2003）；Loebbecke and Palmer（2006）；Pradhan 等（2005）；Sangani（2004）；Shim（2003）；Singh 等（2008）；Wilding and Delgado（2004） |
| 意大利制造 | Guercini and Runfola（2009） |
| 伪造 | Jones（2005）；Lehtonen 等（2007）；Rekik 等（2009）；Wong 等（2005） |
| 黑市 | Pradhan 等（2005）；Wilding and Delgado（2004） |
| 购物体验 | Eckfeldt（2005）；Want（2004） |

产品的自动识别取得了较好的成果，例如跟踪产品、改善流程（使其具有更高的效率、响应速度和减少库存）以及增加信息量和可靠数据。伪造产品已大大减少。

关于意大利品牌保护方面的几个贡献可能取决于独特的意大利市场。然而，其

他国家都愿意采用 RFID 技术以保护自己的国内品牌。

控制和抑制黑市或者水货市场的经验仍然不足，然而，越来越多的应用提高了客户的满意度，同时丰富了他们的购物体验。

在 RFID 技术中，仍需克服某些技术问题（这些问题将在 14.3.2 节中介绍），采用 RFID 技术后，可能在如下环节出现问题，如剪裁、分销和零售流程。对于处理过程的影响较小，对于加工过程的影响更小。

有文献证实，RFID 技术主要应用于网络的下层部分，而在网络上层的应用实例几乎是不存在的。这表明需要对网络上层部分进行更多的实验研究，且研究范围广阔。后面提到的 Griva 和 CLOTH 项目是关于网络上层如何从 RFID 应用受益的实例。

## 14.3.1　采用 RFID 技术——机遇

根据 2007 年意大利米兰理工大学的研究，采用 RFID 技术所带来的利益来可以通过图 14-3 所示的“价值树”表示。在图中主要分为两种收益：

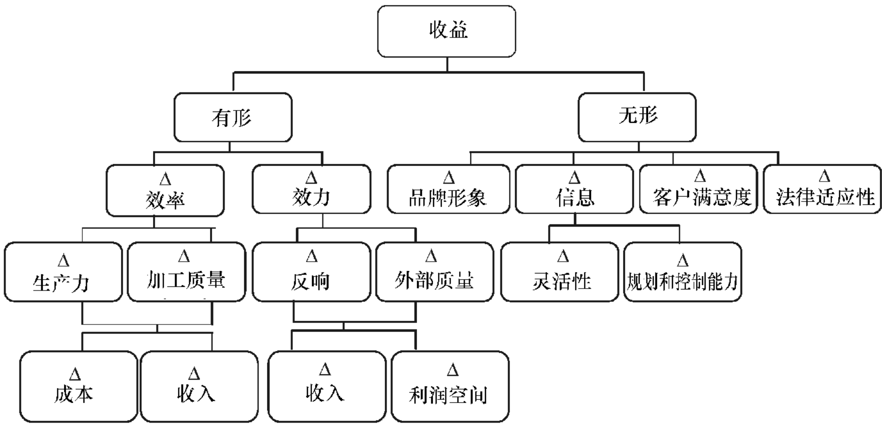



图 14-3　价值树

1）有形收益：有形收益将提高效率和效力。

2）无形收益：无形收益增加难以估量的“软”要素，如品牌形象、信息、客户满意度和法律适应性等，难以量化评估。

与效率相关的利益主要来自资源生产力的改善（主要是人力资源）和/或加工质量。这种改善能够带来成本的降低（生产量不变）、收入的增加（资源提高带动规模的扩大）。

相反，与效力相关的利益大小取决于产品的外部质量（客户能够感知产品具有较高的价值，产品或服务的较高可用性等）和反响。客户价格的影响要么改善

收入（客户购买更多产品），要么提高利润率空间。

无形利益会带来的好处有：①增强品牌形象；②提高可用数据和信息数量，从而便于规划和控制，灵活地应对突发变化；③提高客户满意度；④增强法律适应性。

与 RFID 系统技术相结合的应用产生了价值，并取得了较为理想的结果。事实上，对于基于信息通信技术为基础的相关项目，最好的结果不仅仅源于技术的采用，还取决于业务流程重组、新功能或服务的推出、信息系统的更新等系统事件。

为了更详细地说明 RFID 技术带来的成果，根据以下两点对 RFID 技术的优势进行分组（见表 14-4）：

1）纺织和服装供应网络中的宏观业务，其可以获得更多的收益。

2）在“价值树”中定义的主要类别。

**表 14-4　在纺织工艺过程中，RFID 技术带来的收益**

| 有效性 | M | P | T | DR |
|---|---|---|---|---|
| 大幅削减数据库更新时间，接近实时 | √ | √ | √ | √ |
| 订单管理 | √ | √ | √ | √ |
| 简单快速的提货 | | | √ | √ |
| 品牌形象 | M | P | T | DR |
| 保证产品的真实性——保护意大利制造 | | | √ | √ |
| 信息 | M | P | T | DR |
| 对于每个物品，更高、更可靠的信息 | √ | √ | √ | √ |
| 跟踪纺织（从一个部门/第三方/公司到另一部门） | √ | √ | √ | √ |
| 自动检查出站负载和装车顺序 | √ | √ | √ | √ |
| 收集有关客户的数据、习惯和品味 | | | | √ |
| 效率 | M | P | T | DR |
| 自动识别网络中任意位置的物品 | √ | √ | √ | √ |
| 在无视觉接触的前提下，识别多物体 | √ | √ | √ | √ |
| 将其物体与其物理路线关联 | √ | √ | √ | √ |
| 检查物品的物理特征和使用状况 | √ | √ | √ | √ |
| 当客户存在争论时，操作/加工和材料/加工的关联 | √ | √ | √ | √ |
| 成本节约（运营成本减少和误差范围的减少） | √ | √ | √ | √ |
| 更高的精度 | √ | √ | √ | √ |
| 入站负载的自动控制和物品接受（未拆分） | √ | √ | √ | √ |

（续）

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 纤维块长度的差异控制 | √ | √ | | |
| 经多处理的高精度库存 | √ | √ | √ | |
| 物品架物品可用量的自动控制（大小、颜色） | | | | √ |
| 防止入店行窃 | | | | √ |
| 客户满意度 | M | P | T | DR |
| 客户体验 | | | | √ |
| 增强服务水平 | | | | √ |
| 智能产品的发展 | | | | √ |
| 法律适应性 | M | P | T | DR |
| 灰色市场控制 | | | √ | √ |
| 对于注册商标非法使用的控制 | | | √ | √ |
| 保留信息和隐私保护的维护 | √ | √ | √ | √ |

注：M：生产；P：加工；T：裁剪；DR：分销和零售。

下面的例子将介绍著名的意大利时装制造商 Prada 在商店里开展的活动，以提高顾客的满意度并带给顾客独特的购物体验。

纽约的智能商店

纽约市的 Prada 中心店采用了 RFID 技术。智能标签用于辨别客户、商品，并将每个顾客与他们作出购买决定前后所选择的商品信息进行连接。

在 Prada 中心店里的多个接触点都安装了 RFID 标签和阅读器，以便识别产品、设备和工作人员。RFID 技术为了促进与顾客的关系，设计出无缝的购物体验。Prada 销售人员都配备了无线 RFID 手持阅读器，便于他们访问存储在中心数据库中的最新库存信息和顾客信息。销售人员还可以使用该设备读取标记了 RFID 标签的产品信息，识别佩戴 RFID “芯片” 的工作人员。该设备还控制商店内的显示屏，这些显示屏能够显示产品的生产过程、收藏的照片和设计师的草图，同时提供更详细的颜色、剪裁、面料和生产 Prada 商品的材料等信息。

安装在更衣室内的 RFID 阅读器能够识别顾客带入的服装，并通过交互式视频触摸屏显示这些服装的信息。利用该触摸屏，顾客可以查看产品规格及供选择和补充的配件等信息。通过 RFID 技术，Prada 能够使用存储在数据库中的顾客信息，从而提高了客户在多个销售人员和在不同分店的购物质量。

### 14.3.2　RFID 技术的采用——问题

主要问题在于 RFID 技术在纺织和服装供应网络中的上层应用。事实上，即使

RFID 系统得到巨大的支持，它们的应用在以下两个方面仍存在问题。

1）在网络的上层部分，器件和材料成本的单位价值较低，通常不是足够高，因此难以验证实施 RFID 技术的必要性。

2）商品容易遭受冲击型加工过程（机械的和化学的），能够毁坏 RFID 硬件（如标签）。

关于成本，RFID 技术的最新发展和对其不断地改善使成本具有更大的降低空间。据推测，这些改善将使标签的生产流程得到优化，成本大幅度降低。

标签的抵抗问题，与强机械压力和高温有关，特别是在处理阶段，该阶段容易损坏纺织品上的 RFID 标签。通常情况下，受限的并不是 RFID 芯片，而是天线以及天线与芯片之间的焊接。为了克服这个问题，研究实验室已经提出了能经得起高温（甚至高达 250℃）和较低的机械压力的无源标签，例如，能够支持一定的绘画和染色工艺。

然而，至今仍然没有能够抵抗强机械压力，可以遍及整个网络并且贯穿整个生产、加工和裁剪过程的标签。在这个意义上讲，研究人员正考虑使用嵌体保护的标签，尽管到现在为止还未研制出来。大多数的嵌体都被设计成抗高压力的。因此，它们足够坚固并能够承受损坏物品或加工机器和设备的风险；相反，刚性不足的嵌体不能保证标签的生存。此外，标签的形状不能从网络上层到下层都是一成不变的；最重要的是，标签应用程序一定不能造成产品的缺陷。

但是，这些问题给研究人员带来了新的挑战，从而使得研究人员需要进行新的实验和研究。如果克服所有的技术和物理限制，RFID 对增强纺织和服装供应网络具有极其重要的价值。

意大利纺织品生产商 Griva 是开拓公司的代表，它决定：①网络上层采用 RFID 技术，有效地跟踪织物和在每个生产阶段管理存货清单；②更换错误的条形码系统。

Griva S. p. A. 的未来展望

Griva S. p. A. 是意大利的纺织品生产商，每年生产的织物超过 30 万卷。每天分配 500 张织物，每天分配的织物长度相当于 20000m。它的纺织品用于室内装潢、帷幕，同时还发送给欧洲的零售商。由于各种纺织品用途的多样化，Griva 必须维持高度精确的存货控制，从未加工的纺织原料到机织物，最后到布卷的分配和装运整个过程都需要跟踪。由于从 Griva 仓库出来的布卷都要经过多个处理，这就增加了跟踪难度。处理过程包括将织物暴露在恶劣的环境中，如高温、水、高湿度以及在染色过程中用到的烈性化学品。此外，织物以及随后在布辊上使用的库存跟踪必须承受机器切削、上浆、运输、压缩和包装。

多年来，Griva 使用传统的条形码系统对整个生产过程中的布卷进行跟踪。然而，由于机械和环境对条形码施加各种不同的压力，条形码系统是不准确的。因

此，2006 年，当 Griva 准备开放新的自动化仓库时，它决定与意大利的 RFID 集成商合作。该技术提供者为 Griva 开发了一套完整的 RFID 纺织品跟踪解决方案。欧洲标准 ETSI 302 – 208（866MHz）使用的标签是依照 EPCglobal 标准设计的数字标签，而且该欧洲标准已经实施。所选软件是被 Griva 用于资源规划的提供连接阅读器硬件和企业资源规划（ERP）软件接口的中间件。

这种 RFID 解决方案能够克服 Griva 以前使用条形码时所面临的所有问题。把 RFID 安装在合适的地方，Griva 可以保证跟踪整个生产过程和物流的各个阶段。此外，标签通过了“塑料薄膜”测试，而条形码没有。采用塑料薄膜进行压缩包装，以防止运输过程中有纺织品掩藏了旧的条形码。RFID 技术可以有效地跟踪那些包装好的待发运的布卷，既节约时间还为客户提供了成品布的最准确信息。同时，RFID 标签能够对仓库中的材料自动分类。通过把 ID 信息连接到每个布卷上（如产品类型、重量和直径），可以更有效地把布卷从仓库运输至下一个检查站。各个检查站的操作人员对布卷进行检查，并决定是将布卷放入贮存设施还是立即运送给客户。在结束阶段，自动化系统使用 RFID 标签信息确定每个布卷最终的包装方案和最经济的运输方案。根据布卷的重量和目的地信息，仓储运营商可以根据顾客的需求定制装运箱，并按照指定的运输方式运送。

## 14.4 工业界的补充：工业项目带来的经验

本节主要对来源于两个项目的试验结果进行分析：①在纺织业网络下层中的 RFID 应用，称为“TAGGIE”项目；②在纺织业网络上层的 RFID 应用，称为“CLOTH”项目。

### 14.4.1 TAGGIE 项目

TAGGIE 项目是利用 RFID 技术实现识别和追踪，用来保护意大利制造的产品，该项目是一个产学应用研究项目。与此项目相关的人员均来自学术界和产业界：这个团队由两所大学（其中一所是意大利贝加莫大学）、一家 RFID 技术公司、两家时装公司、一家配件（拉链）制造商和一些服饰公司组成。这个项目的研发和资金支出的目的是将 RFID 技术嵌入或者与企业产品进行集成。

实施 TAGGIE 项目的主要原因是为了保证纺织品的识别与追踪，以保护意大利制造的产品，并防止其受到假冒产品的威胁。

伪造服装和配饰的事件日益增加，事实上，该事件的发生通常是因为伪造的生产过程的透明度太低，甚至没有透明度，这给企业带来了巨大的损失。这种损失不仅仅影响到经济方面，更重要的是它降低了消费者对品牌的印象和信任。“保护意大利制造的产品”，大家对该问题有较为完整的认识，并认为该问题会促进相关法

规的产生，使制造商能够与产品原产地通信。

鉴于此状况，在对两个纺织试点公司的制造工艺进行透彻分析之后，TAGGIE 项目团队决定把 RFID 技术应用到拉链。这是因为制造商可以在物品没有损坏的情况下，能够在生产物品（袋子或服装）的过程中将拉链嵌入，当然，拉链是不容易被替换掉的。拉链上的 RFID 是识别和跟踪产品（无论何时何地，由何人加工产品）、确认产品的原产地的有效工具。项目包括三个不同的阶段。

### 14.4.1.1　流程图

本节主要对拉链的制造工艺和公司布局进行详细分析。这是确认在拉链生产过程中何时嵌入标签，以及将标签放置在公司什么位置以便更新标签信息。此外，在生产过程中收集一些关键且必要的信息。

如图 14-4 所示，拉链的生产过程由三部分组成，线带的生产、滑块的生产和拉链的组装。线带和滑块是制作拉链的两个部件，它们可以同时生产，即使位于不同的区域。前面两个工序完成后就开始了拉链最后的组装。

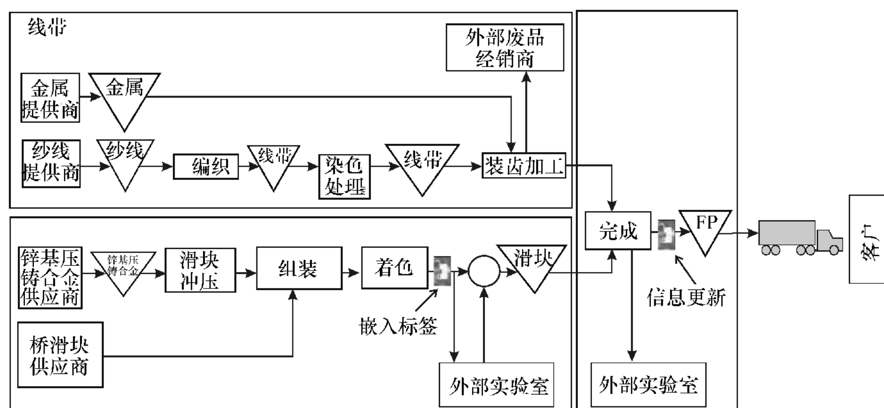



图 14-4　拉链制作总过程

嵌入标签的最佳时间是在生产滑块时，即着色之后、发送给第三方之前。拉链信息会在拉链入库待售前得到更新。这些信息为一些技术参数，如不同部件的颜色和长度、生产批量的数量、日期、使用的机器等。

### 14.4.1.2　技术分析

本节进行相关的实验测试，找出满足项目需求和生产“智能”拉链最佳标签和天线。该团队必须面对一些限制因素：

1）适合小尺寸拉链的小标签（<1cm×1cm）。

2）数量相对较少的廉价标签。

3）不干扰生产拉链部件的金属合金（锌合金）的标签。

4）定制的适合小标签的天线。

项目团队使用无源标签完成了不同的测试，测试实验进行了以下内容的对比：

1）HF 标签与 UHF 标签。

2）铜制天线与铝制天线。

3）使用嵌入与不使用嵌入。

根据项目的需求，最好的解决方案是将具有铝制天线的 HF 标签（因为它对金属表面的干扰小）嵌入在树脂中。一些标签的形状如图 14-5 所示。

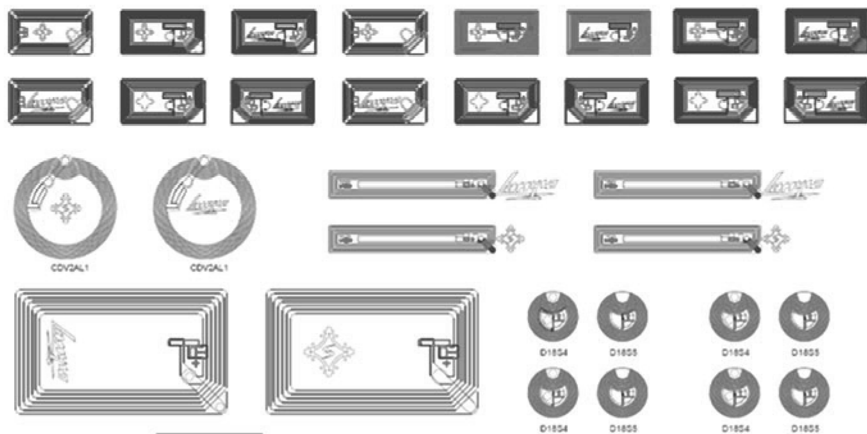


图 14-5　多种 HF 标签

#### 14.4.1.3　时尚设计

TAGGIE 项目也希望利用 RFID 技术改善产品的外观，增加产品的审美价值。所以，该团队努力寻找用于标签嵌体的最好材料（树脂）及形状。此外，为了保证产品的创新性和真实性，将两个公司的标签刻上了“商标”的标记。图 14-6 所示为不同的标签模型。

最终，TAGGID 项目团队成功将嵌体嵌入拉链，以便保护 RFID 标签。每一件带有“智能时尚”拉链的产品都能通过芯片内存中的一串特殊序列号识别出来。为了更好地保护信息的安全，芯片由密钥和编码双重保护，这样便更难复制了。

此外，由于在网络中，标签通过专用应用软件程序进行交互，这种“智能时尚”拉链能够进行无数个潜在的个性化服务。

这个项目的核心成果是在拉链滑块内嵌入了标签，并已对这个创新设计申请了专利（专利号：08169048.9－1256）。

TAGGIE 项目的下一步是将这些创新的拉链产业化，并使用这种拉链生产出“智能时尚”的服装。这样，便能够很好地协调试点公司、供应商和合作方之间的合作关系。他们能够在整个网络上共享信息、跟踪产品，更准确地辨别产品真伪和



图 14-6　拉链模型

确认意大利生产的正品。

## 14.4.2　CLOTH 项目

CLOTH 实验项目的目的是把 RFID 技术引进到纺织和服装供应网络的上层流程中。这样做带来的挑战是在处理宏观流程的时间内把 RFID 设备装在织物上，其中包括预染色、染色和修整过程。CLOTH 项目的最终目标如下：

1）在网络上追踪产品并追溯工序的顺序。

2）检查和监控工艺参数和优化数据收集。

3）抵制假冒产品，保护品牌名称和意大利制造的产品标识。

4）控制布幅长度的差异。

这个项目是由意大利贝加莫大学、一家生产衣服和鞋类特殊面料的公司，以及一家 RFID 标签制造商合作开展的。

根据 14.3.2 节中提到的采用 RFID 要面临的主要问题，特别是网络上层部分要面临的问题，该项目的关键是要提供有力的证据证明，被采用的标签经得起宏观加工处理过程，如预染色、染色和修整等，并在经过宏观加工后继续保持可操作性。

由于有 RFID 标签制造商加入了项目团队，利用 RFID 技术选择在性价比方面最为理想的标签。在此过程中，需要注意以下要求：

1）尽可能小且一般不会损坏材料，不影响材料质量和使用的标签辨识。

2）辨识能够被自动系统读/写且在较宽范围内可读的标签。

3）在预染色/染色和修整过程中，标签对机械和热压力及化学试剂反应的承受力度的评估。

4）低成本、可验证、耐用、程序简单的识别，在该过程中，标签易嵌入或者容易应用到材料中，并且在宏观加工的不同处理过程中能够进行读/写。

5）起草标签硬件读/写系统的技术规范。

6）关于 RFID 的病毒和伪造问题进行评估，以确定安全措施，如标签拦截和密码系统。

第一个测试的结果如下：在94℃温度下，对12 个 UHF 标签进行了60min 的预染色处理，结果显示，超过50% 的标签（8/12）成功地通过了测试。那些没有通过测试的标签，是因为在这种测试环境下标签的天线会熔化。

在染色过程中，将8 个 UHF 标签封装在纺织品嵌体内，并且被缝合在织物上，然后置于105℃环境下进行90min 的染色处理，结果显示，仅有两个标签通过测试。通过显微镜分析显示，可能是芯片熔化了或者离开了原来的位置，或者是天线部分损坏了。

测试结束，项目团队的目标是标签产业化，使标签能够跟踪和识别生产过程主要阶段的织物。

## 14.5 结论

RFID 技术在许多业务中的应用价值日益突出：在竞争如此激烈的社会，企业需要广泛开发先进技术以增强企业的竞争力，从而取得市场的成功。RFID 技术具有不可估量的价值，它有助于提高企业经营效率，使企业在众多竞争者中脱颖而出，同时也能更好地服务客户。

具有生产周期短、生产响应快、配送迅捷、客户喜好不稳定和购买冲动等特点的纺织和服装产业，极大受益于 RFID 技术的应用。然而，这种技术基本上还处于研究和试验阶段，实际的应用还非常有限。它主要考虑网络下层的应用，如剪裁、分销和零售。而在网络上层的应用实例几乎没有。

本章旨在指出采用 RFID 技术的纺织和服装产业获得的利益，以及总结阻碍该技术广泛传播的主要原因。企业对 RFID 技术对商业影响的深入了解，其实是预测企业决定是否采用该技术的根本因素，然后才能对技术落后行业（如纺织和服装产业）的技术转移和改进有更好地理解。

本章主要介绍了 RFID 技术应用于纺织和服装供应网络上层时遇到的障碍，以及其所需要进行的主要研究和试验。事实上，虽然 RFID 系统可能会得到大力支持，但是无论是经济原因（生产部件的成本本身就很低，以至于 RFID 的低成本变得无用武之地）还是生产过程中的化学或机械冲击都阻碍了 RFID 应用的发展。

本章讲述的产学项目证实了 RFID 技术更容易应用于网络（TAGGIE 项目）下层，其在上层（CLOTH 项目）应用中，仍处于研究和实验阶段。

其他阻碍 RFID 技术发展的问题及当前需要克服的挑战与标准、基础设施、成本和隐私有关。尽管近几年，RFID 技术取得了很大的进步，特别是欧洲标准的制定，但是由于 RFID 技术还不是完全成熟的技术，仍有许多研究工作需要进行。此外，仍然缺乏一个无缝的端对端的基于 RFID 技术的供应网络，未来仍需给予其更多的努力和关注。

致谢：感谢 TAGGIE 项目和 CLOTH 项目的资助单位 Regione Lombardia，这些项目可支持中小型企业和当地工业开发区的发展。

## 参 考 文 献

Angeles R (2005) RFID technologies: supply-chain applications and implementation issues. Inf Syst Manage 22(1):51–65

Chappell G, Durdan D, Gilbert G, Ginsburg L, Smith J, Tobolski J (2002) Auto-ID on delivery: the value of Auto-ID technology in the retail supply chain. Auto-ID Center. http://www.autoidlabs.org/single-view/dir/article/6/104/page.html. Accessed 18 November 2009

Choy KL, Chow KH, Moon KL, Zeng X, Lau HCW, Chan FTS, Ho GTS (2009) A RFID-case-based sample management system for fashion product development. Eng Appl Artif Intell 22:882–896

Christopher M, Lowson R, Peck H (2004) Creating agile supply chains in the fashion industry. Int J Retail Distrib Manage 32(8):367–376

Collins J (2006) Marks and spencer to extend trial to 53 stores. RFID Journal. http://www.rfidjournal.com/article/articleview/1412/1/1/. Accessed 18 November 2009

Davison J, Smith SE (2005) Retail RFID stirs process change and improves product availability. Gartner, Stamford, CT

Eckfeldt B (2005) What does RFID do for the consumer? Commun ACM 48(9):77–79

European Commission (2009) Enterprise and industry – textiles and clothing http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/textiles/index_en.htm. Accessed 18 November 2009

Ferdows K, Lewis MA, Machuca JAD (2004) Rapid-fire fulfilment. Harv Bus Rev 82(11):104–110

Gallaugher J (2010) Zara, in Information systems: a manager's guide to harnessing technology. FlatWorld Knowledge online book, http://www.flatworldknowledge.com/pub/gallaugher?ion=true#book-undefined. Accessed 10 February 2010.

Guercini S, Runfola A (2009) The integration between marketing and purchasing in the traceability process. Ind Mark Manage 38(8):883–891

Hogan J (2003) Fashion firm denies plan to track customers. New Sci 178(2391):11

Jones MA, Wyld DC, Totten JW (2005) The adoption of RFID technology in the retail supply chain. Coastal Bus J 4(1):29–42

Kumar S (2007) Connective technologies in the supply chain. Auerbach Publications, Boca Raton, FL

Lehtonen M, Staake T, Michahelles F, Fleisch E (2007) The potential of RFID and NFC in anti-counterfeiting. In: Cole PH, Ranasinge DC (ed.) Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography: Raising Barriers to Product Counterfeiting, Springer, Germany, DOI: 10.1007/978-3-540-71641-9_11

Loebbecke C, Huyskens C (2006) Weaving the RFID yarn in the fashion industry: the Kaufhof case. Manage Inf Syst Q Exec (MISQE) 5(4):169–179

Loebbecke C, Palmer JW (2006) RFID in the fashion industry: Kaufhof department stores AG and Gerry weber international AG fashion manufacturer. Manage Inf Syst Q Exec (MISQE) 5(2):15–25

Metro AG (2003) Metro group future store initiative website. www.future-store.org. Accessed 18 November 2009
Moon KL, Ngai EWT (2008) The adoption of RFID in fashion retailing: a business value-added framework. Ind Manage Data Syst 108(5):596–612
Newstex (2007) Now your clothes will be washed under watchful eyes of RFID. RFID Weblog, 17 October 2007
Ngai EWT, Moonb KKL, Rigginsc FJ, Yib CY (2008) RFID research: an academic literature review (1995–2005) and future research directions. Int J Prod Econ 112:510–520
Niederman F, Mathieu RG, Morley R, Kwon I-W (2007) Examining RFID applications in supply chain management. Commun ACM 50(7):92–101
Politecnico di Milano (2007) RFID: alla ricerca del valore – Rapporto 2007 Osservatorio RFID. www.osservatori.net (in Italian) (2007). Accessed 18 November 2009
Pradhan S et al (2005) RFID and sensing in the supply chain: challenges and opportunities. http://www.ship2save.com/page_images/wp_hp_rfid_supplychain.pdf. Accessed 18 November 2009
Ranasinghe DC, Cole PH (2008) Addressing insecurities and violations of privacy, Networked RFID system and lightweight cryptography: raising barriers to product counterfeiting. Springer, Heidelberg
Redman TC (1996) Data quality for the information age. Artech House, Norwood, MA
Rekik Y, Sahin E, Dallery Y (2009) Inventory inaccuracy in retail stores due to theft: an analysis of the benefits of RFID. Int J Prod Econ 118:189–198
Roberti M (2006) RFID is fit to track clothes. RFID Journal. http://www.rfidjournal.com/article/articleview/2195/1/1/. Accessed 18 November 2009.
Sangani K (2004) RFID sees all. IEE Rev 50(4):22–24
Shim R (2003) Benetton to track clothing with ID chips. CNET, 11 March 2003. http://news.com.com/2100-1019-992131.html. Accessed 18 November 2009
Singh SP, McCartney M, Singh J, Clarke R (2008) RFID research and testing for packages of apparel, Consumer goods and fresh produce in the retail distribution environment. Packaging Technol Sci 21:91–102
Sullivan L (2005) Apparel maker tags RFID for kids' sleepwear. Information Week. http://www.informationweek.com/news/mobility/RFID/showArticle.jhtml?articleID=165701942. Accessed 18 November 2009
Tajima M (2007) Strategic value of RFID in supply chain management. J Purch Supply Manage 13:261–273
Teresko J (2003) Winning with wireless. Ind Week. http://www.industryweek.com/articles/winning_with_wireless_1262.aspx. Accessed 5 August 2009
Want R (2004) The magic of RFID, Intel research, www.acmqueue.com, October (2004). Accessed 18 November 2009
Wilding R, Delgado T (2004) RFID – applications within the supply chain. Supply Chain Pract 6(2):30–43
Wong KHM, Hui PCL, Chan ACK (2005) Cryptography and authentication on RFID passive tags for apparel products. Comput Ind 57:342–349
www.allbusiness.com. Accessed 18 November 2009
www.grivaonline.com. Accessed 18 November 2009

# 第 15 章　新防伪安全模式：指导方针和实施路线

Mikko Lehtonen

**摘要**：产品伪造和盗版行为一直困扰着各行各业的品牌商标所有者。本章对过去防伪技术策略失效的原因进行分析，并制定了有效使用 RFID 进行防伪的管理指南，提出了对使用 EPC Gen－2 标签的产品进行安全认证的实施路线，并讨论了可能出现产品检查的供应链节点位置。

## 15.1　引言

自从有了制造业，总是存在抄袭他人创作的现象。例如，公元前 200 年左右，使用双耳细颈椭圆土罐将酒从意大利运往高卢并以瓶塞作为商标的标志，但是罗马人却伪造了这种瓶塞。因此，长期以来人们很重视对商标和发明的保护。1544 年，法国的查理五世通过了一项裁决：任何伪造著名的弗兰德斯挂毯商标的人将会被砍掉右手。

如今，在打击假冒行为中，企业的安全管理人员使用的缓和策略本质上与过去他们的祖先保护双耳酒瓶瓶塞和弗兰德斯挂毯所用的保护措施是一样的：高技术的标签标记真品（例如，全息图、防伪墨水、变色胶片、特殊印刷、微观标签）和企业律师起诉侵权者。尽管有各种高科技安全措施，据海关统计，近 20 年来，伪造产品的程度飞速加大。

品牌所有人能够利用新的自动识别技术，即 RFID 技术，减轻伪造的程度。特别是提倡在具有较多潜在效益的消费品和零售行业中采用 RFID 技术。许多产品将用低成本的 RFID[㊀] 进行标记，使得利用技术打击假冒产品具有了实际的意义。但现在还不清楚在数百种安全机制中，低成本的 RFID 如何对防伪产生重大影响。本章主要讨论 RFID 技术对打击假冒产品发挥重大作用，但同时也需要管理者在思考安全问题的方式上有所转变。

本章安排如下：15.2 节简单概括 RFID 的安全现状；15.3 节提出防伪产品的一般安全准则；15.4 节阐述现有高科技标签策略失效的原因，以及新的安全模式是如何增加有效性的。最后，15.5 节和 15.6 节为有效使用 RFID 进行防伪提供指导

---

㊀　本章重点围绕 EPC Class－1 Gen－2 标签。

方针，为产品安全认证提出了实施路线，并对不同供应链地点的真实性分析进行检查。

## 15.2 RFID 安全的现状

RFID 用于识别货盘、箱子、单一物品、门票、交通卡、动物、滑雪板、固定资产等。然而，在许多 RFID 应用中，黑客和罪犯进行标签克隆和模仿，危害了正当企业的信誉和税收。这引发了人们抵制标签克隆与假冒威胁。

安全工程师认为低成本 RFID 标签，例如 EPC Gen－2，没有足够能力抵抗克隆攻击，但是，即使简单标签也能使标签克隆变得较为困难。一种方法是使用芯片的静态访问（ACCESS）和注销（KILL）密码，但这些方法容易受到窃听的威胁，从而带来一些棘手的实施挑战。另一种方法是使用芯片独特的硬件号码来验证芯片的 ID，如应答器的 ID（TID）号。这种方法一直被 Pfizer 用于打击假冒的 Viagra 产品㊀，但是它并不是最完善的，它可能被有权接近芯片制造技术，以及会被使用价值 10 美元的标签模拟设备的对手蒙蔽。

RFID 芯片可以抵抗克隆攻击，以及对芯片制造商的私有加密协议的攻击。然而，在 2005～2008 年期间一系列的严重私有协议攻击，MiFare Classic 和 Keeloq 证实了私有协议存在的风险，并引发了对更坚固的标准加密的需求。

较强标准加密可用于 HF 频段（13.56MHz）的 RFID 标签，但是还不能用于物流应用的 UHF 频段（868～956MHz）。然而，高级加密标准（AES）和椭圆曲线加密（ECC）已经在某种程度上表明硅符合严格的芯片尺寸和能量消耗需求的 UHF 无源标签，尽管尚未做出上市产品，也不能解决侧信道攻击。

除对标签进行加密外，还可以采用不可复制性功能（Physical Unclonable Function，PUF）技术对 RFID 电子标签进行认证，PUF 技术提供了标签上的、硬件开销较小的密码装置的功能性。这种方法已经商业化地应用在 HF 标签上，在 RFID 安全市场上，它具有显著的成本优势和加密方式。

除了上述两种防止标签克隆的方法，还可以利用可靠的克隆标签检测系统抵御标签克隆攻击。这些技术类似于入侵检测系统。首先，检查序列化 ID 号（如 SGTIN）的有效性；然后推理所有的读取事件是否是由克隆的标签产生。此外，RFID 标签的用户内存可以存储可再生的随机数，即所谓的同步的秘密，该随机数由后端服务器校验以检测标签克隆攻击。

---

㊀ http：//www.rfidjournal.com/article/articleview/2075/1/9/。

## 15.3　管理者安全须知

暂不谈 RFID 安全，首先从整体的观点讨论安全工程。为了理解作为安全应用的技术性防伪措施，提出的指导方针提供了背景。

在日常用语中，安全容易被理解为保护的同义词，但在没有明确给出定义的前提下，无法对安全进行分析。这种定义有助于准确理解假设。安全通常涉及资产（“任何对组织有价值的东西㊀”），它们需要被保护起来免受威胁（“有害事件以及导致其事件的因素，有害事件将对系统或组织造成伤害”）。除直接保护之外，可通过减少预期收益阻止第三方的安全威胁，如图 15-1 所示。

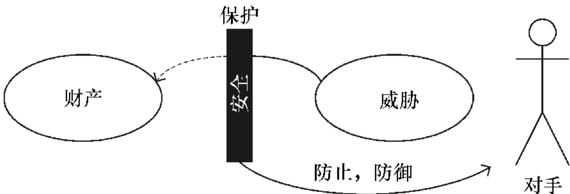



图 15-1　安全的概念

### 15.3.1　安全性和实践

理想的产品认证系统具有安全性高、价格低、易验证等特性。但是，安全应用需要平衡解决方案的成本、安全等级、性能和可用性之间的关系。这些根本性的权衡体现在防伪应用的设计决策中（见图 15-2）。例如，机读安全特性（高可用性）在实践中通常是无效的，因为该阅读器成本较高、阅读器控制和分布的复杂性高，而且如果阅读器落入他人之手，可能会对整个系统造成影响。

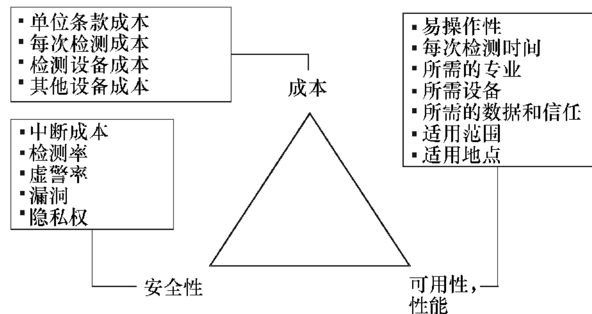



图 15-2　技术性防伪措施的主要权衡

㊀　这可以是信息、软件、物质、服务、人或无形资产。

这些权衡解释了为什么研究加密 RFID 标签是围绕标签成本、安全等级及阅读距离和速度（电能消耗和时钟周期）等方面的性能。虽然研究团队一直不断改善上述权衡，但是技术的进步也使得第三方更容易获得破解设备，比如降低计算的成本。

管理者需要明白，安全对策提供的保护水平取决于对策在实践中的使用方式。正确使用对策的重要性已被多篇学术论文认可，而且在许多实际保安系统中，是否正确使用对策已成为了系统的致命点。一般而言，安全机制（如密码、加密、防火墙、反病毒软件、入侵检测系统等）具有“固有的安全等级”，其特征是中断成本和检测率，但是，必须以有效的方式将这种机制应用于实践中（例如密码的安全需要保护、门必须上锁等）。在技术性防伪系统中，这意味着检查不仅要可靠（内在安全性高），还需要真正用于防假冒伪劣产品（检测率要高）。

## 15.3.2 产品认证

产品认证是验证过程，该过程是对处于研究中的产品身份进行核实。该过程实质上是处理不确定性，此外不同的产品认证技术的认证结果也会不同。这一原则在实践中得到应用，例如，首先验证公开的安全特性（如全息图），然后验证半隐蔽或隐蔽特性（如变色墨水），最后是有争论的特性（如分子标记），如图 15-3 所示。

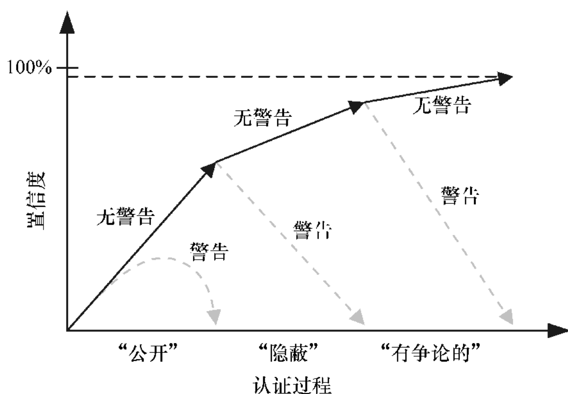



图 15-3 产品认证过程中信任程度和验证步骤之间的关系图

产品认证有四个可能的结果。对品牌所有人而言，希望看到的结果是在利用认证机制进行产品检测时，假冒产品发出报警（真阳性），而正品直接通过检测（真阴性）。相反的情况是，假冒产品通过检测而没有发出警报（假阴性），正品未通过检测并发出警报（假警报）。假冒产品被检测到的概率标志着检测的安全等级，误报率则代表不必要的检测所带来的成本因素。

## 15.3.3 保护供应链

保护供应链免受假冒产品的威胁不仅是产品认证的过程，还是整合技术、组织

以及法律对策的过程。该过程首先确定伪造者的行动过程，然后确定预防、侦测，以及响应的对策。这些对策能够减少伪造行为。

伪造者的伪造过程是：①获取假冒产品；②获取具有有效序列号的标签；③向合法供应链出售假冒伪劣产品。获得有效的序列号并不是必须的步骤，但如果不这么做，假冒产品就很容易被检测到。当前，相关组织和法律对策的最佳做法已由 Staake 及反假冒和盗版联盟（CACP）公布。

图 15-4 所示为防伪供应链的集成过程，该过程联合了大量基于序列技术的策略和组织、法律性的对策。该模型显示了供应链是如何通过预防—侦测—响应三个进程进行安全防御的，其中每个进程都会增加伪造的难度。该模型为合法的产品商展示了可采取的各种抵御措施，这些措施可保护合法供应链免受假冒产品的威胁。

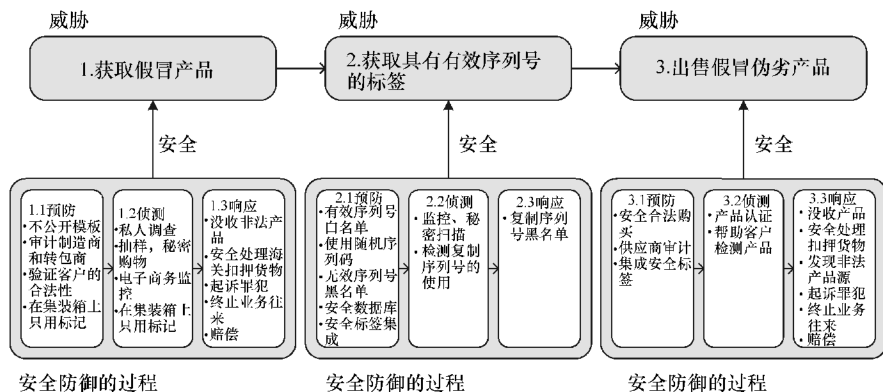



图 15-4　抗假冒产品的供应链的集成过程

## 15.4　安全防伪的模式转变

对于技术性防伪系统的投资就是安全投资。对于防伪的安全性传统认识——所谓的传统安全模式——是将安全性等同于努力克隆或伪造的安全特性。因此，投资技术对策受到影响的公司需要为伪造成本付出代价，事实上，现代防伪技术（如激光表面分析、变色墨水、爆炸物示踪剂、显微印刷、系列化三维全息图和微电线等）的伪造成本很高。

公司逐渐加大了反伪造技术的投资，这也使得伪造成本升高。这些对策包括排除商品来源的不确定性、对法律案件提供可靠的证据、通过示范行动减少债务。对受影响的公司，虽然这些原因是有价值的，但它们只处理问题的症状，而不是实际问题本身。这便暴露了传统安全防伪模式的缺点：它专注于产品的“防复制”，并

没有充分解决促进产品高检测率的实用性及性能方面的问题，也没有制定出有效的技术方案。

较低的检测率说明现有许多技术是失效的。据受影响的品牌持有者称，在如今的供应链中，只对很小比例的产品进行真实性检测，而这些检测都是零散的而非系统性检测，假冒产品可能是被意外检测出来的，而不是进行准确认证检测的结果。即使是海关，也只是对不到1%的产品进行检测。

伪造者对安全特性的反应进一步证明了较低的检测率。人们一直在讨论：如果假冒产品不容易被检测出来，那么伪造者就不需要克隆或模仿正品的安全特性。事实上，实证研究表明许多假冒产品即使不具有安全特性也能够被辨别出来。2007年，Staake 采访了十多种产品类别的专家，并对 128 种假冒产品的特点进行了分析。结果表明，多达 87.4% 的假冒伪劣产品能够被经过严格训练的检测员根据产品外观质量识别出来，如图 15-5 所示。

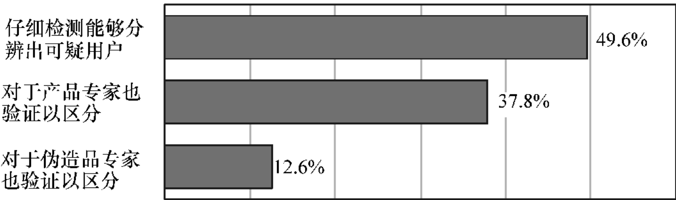



图 15-5　假冒产品的外观质量（$N=128$）

传统安全防伪规范的不足可以通过规范转换来克服。由于产品认证系统的目标不是“防止产品复制”，而是检测出假冒产品，技术性防伪解决方案的安全性应该等同于系统检测假冒产品的能力。这意味着安全防伪需要进行规范转换。

新的规范专注于保护供应链而不是产品，它可用于具有不同可能干预点的合法以及非法的供应链（参考 15.6 节）。其目标是得到较高的假冒产品检出率（$P_{\text{det}}$），它等于一件假冒产品被检测的概率（$P_{\text{check}}$）乘以该产品在一次检测中被正确检测的概率（$P_{\text{reliability}}$）。这个指标反映了对安全性的直接影响，以及对伪造者的经营模式的影响。此外，新的规范专注于由安全对策提供的安全措施，因为它也考虑了产品的实用性及性能。这两种规范的区别见表 15-1。

**表 15-1　传统的和新的安全防伪规范**

| | 传统的安全规范 | 新的安全规范 |
|---|---|---|
| 安全目标 | • 产品 | • 供应链 |
| 威胁 | • 产品克隆 | • 向供应链中注入仿造品 |

（续）

| | 传统的安全规范 | 新的安全规范 |
|---|---|---|
| 定性目标 | • 防止产品盗版<br>• 去除商品原产地的不确定性<br>• 法律案例的可靠证据<br>• 减少责任<br>• 可视的增值特性 | • 对仿造品进行有效检测<br>• 降低仿造所带来的盈利 |
| 定量目标 | • $P_{\text{reliability}}=100\%$<br>• 打破高成本 | • $P_{\text{reliability}}=$ “足够好”<br>• $P_{\text{check}}=100\%$ |

低成本 RFID 和新安全规范

新安全规范的实施需要减少成本，同时需要致力于检测，这就是 RFID 是一种有效防伪工具的原因。而且，基于标准 RFID 标签和阅读器的解决方案能够克服专用检测设备和硬件供应商所存在的问题。在没有视野的情况下，RFID 能够一次检测多种产品，这会显著提高产品的检测率。

认证识别的集成化是实现增量检查的强大工具，它是指对识别出来的产品进行鉴定。图 15-6 列出需要协议层的变化，其过程包含了建立安全连接到后端服务器的初始化阶段；验证阶段，该阶段收集来自标签的可选凭据，并发送到后端服务器。从原型实施的测量得知，验证阶段包含了后端服务器到阅读器和阅读器到标签的通信过程（见图 15-6 中步骤 4），这将标签的处理时间提高了 180%。在需要大量读取的过程中，该处理时间能够降低部分方法的适用性。

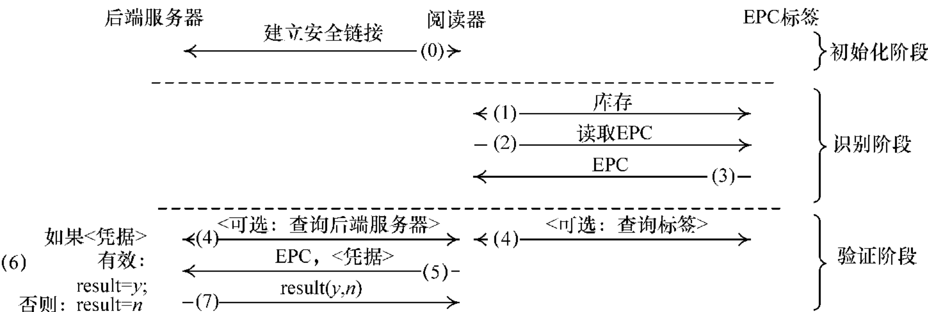



图 15-6　集成认证与识别时的协议层变化

从静态难复制特性到基于检测的认证（如跟踪和跟踪检测），品牌所有人可以通过更新伪造者伪造的那些安全特性来避开这场猫鼠的游戏。基于检测方式的缺点在于其不确定性，这种不确定性是在追踪数据不完整的情况下，由于不完全的可见性造成的。模拟研究结果表明，在利用跟踪数据检测克隆商标时，这种不确定性将

引起漏报（$P_{reliability} < 100\%$）和误报，但大部分的假警报可以通过过滤算法消除。

在发出警报之前，需要进行其他的（如手册指南）检验来确定产品的原产地。虽然这需要付出额外的努力，但通过使用同步的加密法，可尽可能多地对进入 RFID 系统的克隆标签触发报警，以减少检验的数量。

RFID 是一种成本相对较高的防伪技术。不考虑其他的基础设施建设成本，即便是低成本的 RFID 标签，也是典型安全特性成本的十倍（每个 RFID 标签的价格大约是 10 美分，而不是 1～3 美分）。然而，由于 RFID 是一种能同时提供多个自动识别应用的平台技术，只有部分标签成本计入防伪应用中。因此，商标保护被认为是使整个 RFID 的投资贬值的附加方式。

## 15.5 RFID 安全产品认证路线

研究人员提出了若干标识 RFID 产品的认证方法，根据不同的成本，提供不同级别的保护。所需的保护级别依赖于第三方对需要破坏或绕过安全措施的特殊产品的投资力度；过强的安全措施（如在口香糖上的加密 RFID 标签）会造成资本的浪费，但是，较弱的防护措施会留下安全隐患。然而，对于不同的产品，很难判断哪些措施是保证产品认证（即 $P_{reliability}$ 足够大）所需的。

为帮助品牌所有人对不同种类的产品选择适当的认证方法，我们使用 EPC Gen－2技术构建了安全产品认证的路线。各种方法的出发点都是识别被标记的对象，以及核实该对象的序列标识符（如 SGTIN）是否有效。这种做法只需要有一个保存有效标识符的白名单。

基础措施不足以保证产品的安全，但通过处理标签克隆、标签注销和再次应用攻击，它能够变成安全的产品认证。前者旨在解决的安全目标是通过增强标签的不可克隆性和检测克隆标签来保护产品的；后者则是增加标签标记的产品的完整性，对产品加以保护。对于假冒风险系数低的产品，如一些非品牌的快速消费品，基础措施能够提供很好的开端。对于假冒风险系数高的产品，如专利救生药物和飞机零部件等，其安全保护措施要求很高，且第一个技术性对策应该具有更高级的安全措施，如追踪和跟踪检测、标签加密等。

上述三个安全目标对应了三组安全措施，如图 15-7 所示。在图中的左边部分给出了适用于 UHF RFID 标签（如 EPC Gen－2 标签）的安全措施。由于部分安全措施也可以使用序列条形码实现（例如数据矩阵），序列条形码相应的图形如图右边部分所示。

总之，UHF RFID 提供了一系列保护产品安全认证的方法。特别是，条形码抵制克隆的能力受限于复制检测模式，它是由计算机生成的图像，根据噪声模型的变化可以检测这些图像的副本，但如果对印刷过程没有深刻的认识，噪声模型的变化

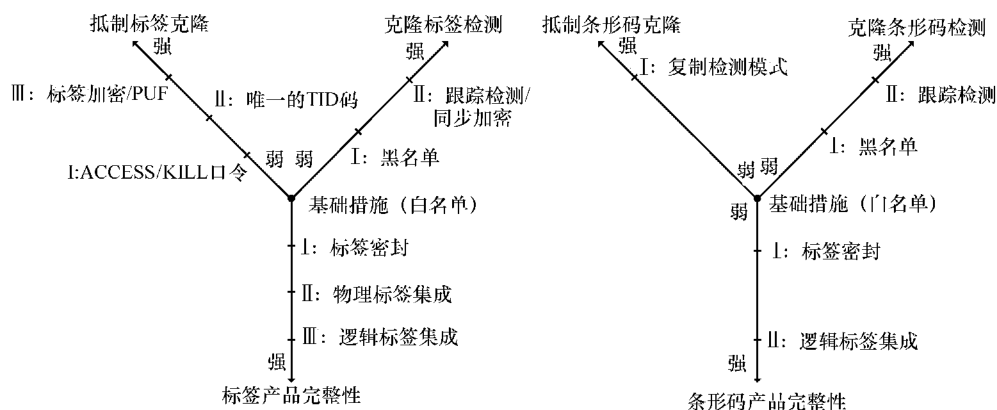



图 15-7　UHF RFID 标签（左）和条形码（右）的安全产品认证路线

便会难以利用。因此，它们不是即插即用的解决方案。这意味着 UHF RFID 相对于序列条形码具有更大的潜力去保护产品认证的安全。以下部分将详细介绍可用于 UHF RFID 的安全措施。

## 15.5.1　抵制标签克隆

传统的安全措施是通过加强克隆抵制以减轻标签克隆攻击。Gen－2 标签、KILL 和 ACCESS 的双重密码保护命令，可用作基本的标签认证技术，尽管它们容易受到窃听的威胁。在标签部署方面，基于 KILL 密码的认证是可行的，但却带来了一些技术挑战。总的来说，这些方法容易被窃听，易受到 32 位密码的强力破解。

同时，只读应答器 ID（TID）增加了 Gen－2 标签的克隆难度，但 TID 只是阻碍标签克隆的障碍，并不能提供长期的安全认证。标签克隆抵制的最高水平——在硅标签和 HF 标签上使用的加密标签技术和物理不可复制性功能（PUF）技术已经实现，这两种技术也适用于 UHF 标签。

## 15.5.2　克隆标签检测

第一种基于检测的措施是对那些已售出、已消耗或其他无效的产品的标识码进行检测，由于这些产品被列入黑名单而不能通过检测。当标识码为有效时，基于检测的措施便能约束时间窗口，因为伪造者通常利用该时间窗口企图通过基础措施的检测窗口。其他基于检测的措施包括：追踪与跟踪检测，以及基于可视性的检测克隆标签的同步加密方法。

与简单的黑名单相比，这些技术能够在相应的标识码被列入黑名单之前检测出克隆标签，比如当正品处于供应链上时。虽然追踪和跟踪检测并不会增加产品的处

理时间，但相对于简单的识别方法，同步的加密协议增加了约 180% 的开销时间。

### 15.5.3 标签产品完整性

标签产品完整性是确保标签贴在了正确的产品上。将标签封装在产品或产品的包装箱上是提高标签产品完整性的简单方法，这导致真标签难以去除，以及再利用。

此外，根据产品的特点，采用先进的技术可将 RFID 标签安全地集成到各种物品上。例如，内嵌在金属制造的手表中（尽管没有使用标准 Gen－2 标签）。物理标签集成使得标签很难被发现，在不破坏标签和产品的情况下，标签很难被去除，难以被假冒产品再次使用。

通过将产品独特的特性存储在物流标签上，并验证该标签被贴在正确的产品上，能够实现最牢靠的标签产品完整性。

### 15.5.4 风险管理

本节概括了上述与 RFID 安全措施相关的风险，以及采取怎样的预防行动消除风险。结论见表 15-2。

**表 15-2 基于 RFID 的风险模型的安全措施**

| 安全措施 | 风 险 | 措 施 |
| --- | --- | --- |
| 基础措施（白名单） | ■ 复制产品 ID 号 | ■ 检测克隆商标/增加商标克隆阻力 |
| 黑名单 | ■ 列表未更新，仿造品未被检测出来 | ■ 系统更新，例如，当商品被出售 |
| 追踪和跟踪检测 | ■ 虚警率<br>■ 漏报率 | ■ 维护正品产品的生产模型<br>■ 保持高水平的透明度，消除位置的不确定性 |
| 同步加密 | ■ 克隆标签通过检测（未警报），真标签检测时警报响起<br>■ 真标签同步加密操作（拒绝服务） | ■ 具有较高标签读取速度，在该时间内仿造者无法克隆或插入标签<br>■ 使用 ACCESS 密码读写过程中，确保密码同步 |
| ACCESS/KILL 密码 | ■ 窃听<br>■ 暴力窃取 | ■ 提供安全的读取环境<br>■ 用标签抵御暴力窃取在定时器和计数器内部 |
| 唯一的 TID 码 | ■ 标签模拟装置<br>■ 可编程标签制造 | ■ 检查标签，确保没有使用模拟装置<br>■ 调查市场，如果可编程标签可用 |

（续）

| 安全措施 | 风　　险 | 措　　施 |
|---|---|---|
| 加密标记 | ■ 密码分析<br>■ 侧信道攻击<br>■ 物理攻击<br>■ 移除和再申请 | ■ 使用标准加密和足够长的密码<br>■ 使用标签阻止物理攻击和侧信道攻击<br>■ 使用标签密封和物理标签集成 |
| PUF | ■ 移除和再申请 | ■ 使用标签密封和物理标签集成 |
| 标签密封 | ■ 密封失效<br>■ 密封未查证 | ■ 使用较为牢固的密封<br>■ 系统验证 |
| 物理标签集成 | ■ 标签检测、移除、再申请 | ■ 在产品上隐藏标签<br>■ 安全标签集成<br>■ 自定义标签和产品增加再利用的难度 |
| 逻辑标签集成 | ■ 特定对象特征模拟 | ■ 使用真正唯一的随机物品特性 |

## 15.6 供应链产品认证的位置

基于 RFID 的产品认证系统可应用于各个供应链位置，包括合法和非法的供应链上的检测点。这些位置的选择决定了技术方案能够解决哪些部分的问题。

对 SToP 和 BRIDGE 项目，以及现实生活中各种可能的使用场景进行收集和分类，我们可以识别分析出可能的产品认证供应链位置（见图 15-8）。已鉴定的位置

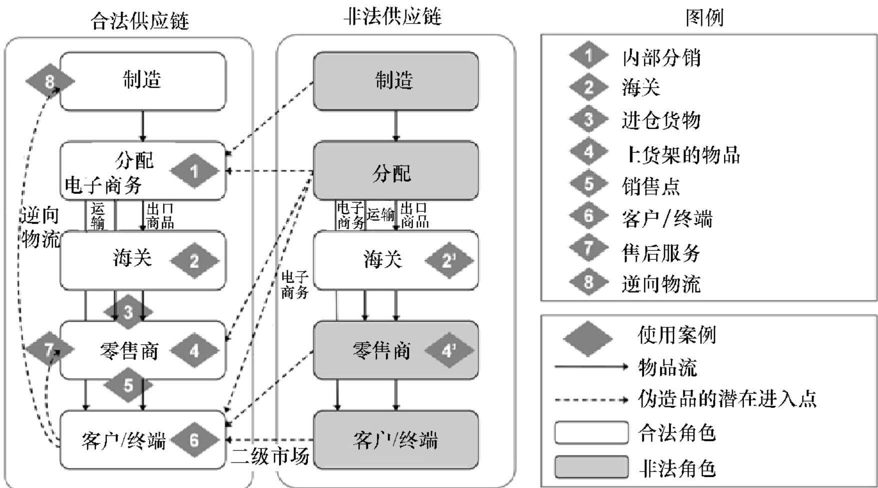



图 15-8　可能的产品认证供应链位置

被映射到一个从制造商到消费者/终端用户的通用模型中，该模型中不包括零件和组件的供应商。分析包括了以下几个方面：①当前业务过程中的产品处理；②将真实性检测集成在现有的自动识别过程中；③如何检测某位置对假冒行为的影响。

### 15.6.1 内部分销

假冒伪劣产品可在分销阶段中进入合法的供应链，分销阶段处于制造和零售之间。它们可能是以赝品的完整寄售，或者是被夹杂在正品中的方式出现在供应链上。分销阶段的真实性检验有助于检测这些假冒产品，如在分销中心的真实性检测。由于在内部分销阶段，物流单元使用自动识别，当前的自动识别进程为自动化、系统化的真实性检测提供了机会。

当产品（如奢侈品）采用批量处理，或者逐个处理时，无需额外计算被验证产品，未加标签的假冒产品便可被检测出来。另一个重要的效率因素是分销商的数量相对较少（与零售商数量相比）；当所有的正品流经的供应链位置相对少时，整个产品群便通过少量的检测点。此外，假冒伪劣产品一进入合法的供应链，分销阶段内部的真实性检验立即进行，增加了检测到侵权的概率。但是，假冒产品也可能进入供应链并进行流通。

如果品牌所有人或制造商没有自己的分销网络，而是依靠外部合作方（如外部合法的供应链），那么积极地与外部分销商的合作是必需的。从外部经销商获取所需的承诺是富有挑战的，这是因为分销商从执行真实性检测中可能得不到直接的商业利益。

### 15.6.2 海关

海关没收假冒产品，因此，在任何防伪策略上，它都是关键的利益相关者。尽管防伪不是海关的首要职责，但海关通常处于干涉非法供应链的最好位置。因此，海关的防伪行动，不仅保护了合法供应链，使其远离假冒产品，还对非法供应链以及伪造者的经营产生了较大的影响。

品牌所有人通过提供培训和设备的方式与海关联合，进行假冒产品的检测。但是，海关并不愿意采用各种各样的设备来检测不同种类的产品。尽管许多品牌所有人给海关提供了许多设备来检验他们的设备，海关人员很少知道，也很少记得如何操作它们。更确切地说，能够处理不同种类产品的简单标准的解决办法是首选。如今，这样的标准方法并不存在，但是，自动识别与认证的集成技术（如 EPC/RFID）将取代现用的数百种产品认证方法。

当前，海关只对某批进口货物中少于百分之一的货物进行检验。这些检验是抽样的，且不进行常规货物处理。因此，一次检验一种货物的系统已经足够。另外，由于产品的检验不只在海关的仓库内进行，公路上、公司仓库或其他边远区域都能

进行检验，因此海关需要移动或便携式检验设备。单一样品的零散检验有助于海关更快更简便地识别假冒产品，但是不能有效地检测那些混杂在正品中的少量假冒产品。最后，海关采用的方法并不需要达到 100% 的精确水平，这是因为受影响的品牌所有人最终负责提供检获产品的秘密来源。

### 15.6.3　进仓货物

在打击假冒产品的活动中，零售商起着至关重要的作用。零售阶段包括典型的消费品零售商以及其他的目的地，如药房、医院、一些小精品店和车库等。销售阶段的真实性检测可以整合到进仓货物被置于储藏间或车间之前被扫描到库存的过程中。零售阶段的进仓货物验证将是一个非常有效的保护合法供应链的方法。

当进仓货物接受当前程序的检测时，如逾期数据检测、订单完整性查证，真实性检测与当前检测程序的整合开销只是很小部分的开销，并已被 SToP 项目的药剂试验证实。当进仓货物的扫描程序是至关重要的环节时，一笔小数目的开支是必不可少的。此外，如果是固定的批量进仓货物，可自动检测未标记的假冒产品。

零售阶段真实性检测的通病是，因为是在供应链中较靠后的检测点被检测出是假冒产品，因此导致难以追踪假冒产品来源。另外，相比上游的检测点，下游需要更多的检测点以覆盖相同的产品流。

### 15.6.4　可供销售的产品

真实性检测也是在零售阶段，通过验证货架上和商店中可供销售的产品来远离假冒产品。如果这样做，要么获得零售商的同意，如作为品牌所有人的审计；要么不需要经零售商的同意，好比私家侦探在市场中对秘密交易收集伪造侵入证据。这些检测的条件是那些被证实产品是公开展示的产品，且这些产品被限制为日常消费品。然而，通过测试和验证购买的样品可以克服这些限制条件。因此这些使用方案包含了使用电子商务测试购买的物品。一般而言，如果消费者被授权使用所需技术并给予鼓励，他们也可对零售货架上的产品进行验证。

货架上的产品检测是对某些产品进行随机检测的，并能找出那些为提高效益而放置在货架上待出售的可疑物品。这些检测不太可能是鉴别和验证商品程序的一部分，因此需要检测人员付出额外的努力。但是，这些努力是值得的，因为海关的检测和货架上产品认证相结合，是干涉非法供应链的唯一方式（除了合法供应链中的私人检测）。

基于 RFID 的解决方案特别适用这种场景，该方案具有较广的阅读范围和大量的阅读模型，因为它可以快捷、细致地验证零售货架上的商品。为检测未贴标签的假冒商品，验证商品的数量必须人工计算。另外，由于这种检测是在供应链的后面阶段进行的，追踪检测到的假冒商品的来源会显得非常困难。

### 15.6.5　销售点

在销售点和消费点的产品认证（如在医院出售的药品）是保护合法供应链的最后一个环节。在分销渠道的最后环节中，产品被逐个处理，因此无需统计已验证物品的数量，以便检测贴标签的假冒产品。除此以外，销售点系统已使用自动识别技术（如扫描价格，查证药品的有效期）识别产品。这两种情况均可最小化产品真实性检测与处理程序的整合过程中所需付出的努力。

另一方面，在销售点系统引入产品真实性检测是有难度的。首先，在消费者、患者和终端用户面前验证产品会妨碍客户关系。例如，在患者面前检验药品会降低患者对医生或药剂师的信任；对奢侈品的检验会破坏精心设计的购买体验带来的“浪漫”。总之，零售商不愿意在消费者面前讨论产品的真伪问题，这样会让客户产生负面想法。特别是消费者得知假冒产品出现在零售店的首次场景。零售商的所做的是如何消除消费者的负面想法，尽管是对消费者即将购买的个人物品进行产品真实性检测。

此外，其他因素也增加了检测难度。这些具有严格时间要求的检测程序不允许出现附加延迟。最后，大量可能的销售点只能利用标准、法令和法规的手段来传播新技术、新工艺等[一]。

### 15.6.6　消费者/终端用户

赋予消费者和终端用户执行检测产品的能力，能够保证在零售阶段正品的供应和反欺诈反假冒行为。例如，在加纳销售的药品具有一个独特的数字代码，可以被刮开并发送一条短信以验证产品的真实性[二]。诺基亚电池也使用了类似的数字代码[三]，香港机场同样采用类似的系统[四]。

在品牌所有人不能访问的地区，包括二级市场（如跳蚤市场，C2C 销售）和新的地理区域，可通过手机设备让消费者参与产品认证。除利用消费者自己的设备外，也可安装阅读器亭便于消费者鉴定产品。但对于此种方法，消费者无法确认阅读器亭是否可信以及鉴定结果是否正确。

尽管这种使用方法极有可能会涉及很大的消费团体，但由于其反抗心理该方法几乎没有被采用。总之，许多品牌所有人认为“不应该将消费者卷入此中”。的确，

---

㊀ 比如，欧洲制药工业协会联合会正尝试寻找满足欧洲委员会的可追溯性请求的方法。http：//www. efpia. org/content/Default. asp？PageID =56。

㊁ http：//www. mpedigree. org/home。

㊂ http：//www. nokia. co. id/nokia/0，82227，00. html。

㊃ http：//www. rfidjournal. com/artical/view/5022/1。

关于是否应该让消费者参与到反假冒产品行动中存在很大争议。首先，负面的宣传和引导会导致销量下降。其次，所需的努力和消费者授权成本太大，以至于无法对利益进行判定。再次，通过提升消费者识别假冒产品的能力，很多消费者可能会涌向二级市场购买二手产品。最后，认证技术可能会发出错误警报，带来责任赔偿问题。另外，一些消费者有意购买假冒产品，这制约了消费者出于好的动机购买正品的使用场景。

### 15.6.7　售后服务

在某些情况下，如消费者返回货物进行售后服务时，假冒产品可能会出现在合法的供应链上。例如，在奢侈品行业，长期使用的产品有时需要返回进行维修、磨光和翻新等处理。虽然售后服务的产品验证不能阻止消费者购买假冒产品，但能在服务早期轻易地检测出假冒产品。

从过程上来看，由于这些产品是逐个或小批量处理的，因而在零售商或品牌所有人的经营场所（如奢侈品精品店）进行产品的验证相对容易。由于涉及消费者的关系，最好在幕后或服务阶段进行，而不要在消费面前进行产品验证。当消费者故意将假冒产品送往售后服务企图换得正品时，这也是一种可取的做法，因为可以避免与不诚信的消费者产生面对面的冲突。

从技术的角度分析，缺乏完整的追踪数据限制了基于位置的验证方法。考虑到序列标签的移动，这需要对未加标签的正品进行处理，包括未加标签的产品类别和未加标签的旧商品的产品类别。最后，我们发现这种情形下，很难追踪假冒产品的来源。

### 15.6.8　逆向物流

与售后服务情形相似，在保修期内产品被返回到制造商的逆向物流过程中，假冒产品可能会趁机进入合法供应链。这种问题常见于电子设备、电池、电脑芯片、机械部件或配件。厂商看到被退回的、保修期内的假冒部件不断增加并给予更换。因此，这些产品的制造商面临着没有适当的技术和方法检测返厂物品，他们被迫以真换假。于是，真实性检测将会整合到厂商的服务过程中。

相对于供应链最低阶段的检测，逆向物流检测只需很少的检测点。但是这种检测方法的缺点是，该检测已经远离假冒产品的源头，其收益仅局限于减少了更换或维修假冒产品的损失。

### 15.6.9　技术方案的意义

对检测真实性的供应链位置的选择，限制了某些产品认证方法的适用性。原则上，只有在产品进入销售点之前才能收集跟踪的数据——尽管在大多数情况下，厂

商很早就失去了产品的踪迹。这限制了基于位置认证的适用性。表 15-3 显示了在不同供应链位置中，各产品认证方法的适用性。

**表 15-3　RFID 产品认证方法的适用性**

| 位置 | 基础措施 | 黑名单 | 跟踪检测以及同步加密 | 密码/TID/加密标记/PUF |
|---|---|---|---|---|
| 1. 内部分销 | Ok | Ok | Ok | Ok |
| 2. 海关 | Ok | Ok | Ok | Ok |
| 3. 进仓货物 | Ok | Ok | Ok | Ok |
| 4. 可供销售的产品 | Ok | Ok | Ok | Ok |
| 5. 销售点 | Ok | Ok | Ok | Ok |
| 6. 消费者/终端 | Ok | 受限① | 受限② | Ok③ |
| 7. 售后服务 | Ok | 受限① | 受限② | Ok |
| 8. 逆向物流 | Ok | 受限① | 受限② | Ok |

① 除假冒标签外，真实的标签也可能在 ID 被列入黑名单后发起警报。

② 一旦无法再对正品进行追踪，将无法对单个的克隆标签进行可靠检测，但是存在多个克隆标签时，却能够检测到它们的存在，特别是相同 ID 号的克隆标签的数量非常大的情形。

③ 如果校验器获悉了密码，这些密码仅提供给可信任的机构。

## 15.7　结论

虽然当前技术已经加强了抵制假冒伪劣的行为，但采用方法仍然受限于安全规范的变化。现在防伪模式破解成本高，结果忽略了科技防伪系统的真正目的——检测假冒产品。通过放弃某些可靠性检测，品牌所有人可获得数量级增长的 RFID 检测率，以有效检测出在受保护的、合法或非法供应链中的假冒产品。由于可靠性检测与采用的安全措施有关，本章提出的路线，针对如何在越来越多的可靠性安全措施扩大化竞争中实现安全产品认证提出建议。最后，识别和分析了 8 种供应链位置，从而进行产品真实性检测。

致谢：本章的工作部分由圣加仑大学/瑞士联邦理工学院的自动识别实验室资助。

## 参 考 文 献

Bishop M (2003) What is computer security? IEEE Secur Privacy Mag 1(1):67–69

Bogdanov A (2007) Attacks on the KeeLoq block cipher and authentication systems. In: 3rd conference on RFID security, volume 2007, Budaperst, Hongria

Bono S, Green M, Stubblefield A, Juels A, Rubin A, Szydlo M (2005) Security analysis of a cryptographically-enabled RFID device. In: USENIX security symposium, Baltimore, MD, USA, pp 1–16, USENIX

CACP (2009) Intellectual property protection and enforcement manual: a practical and legal guide for protecting your intellectual property rights. The Coalition Against Counterfeiting and Piracy (CACP). http://www.ipr-policy.eu/media/pts/1/Brand_Enforcement_Manual_FINAL.pdf. Accessed 24 June 2009

Cook C, Vogt H, Muller J, Dada A, Pfletschinger M, Ortel N, Molan M, Naraks A, Gourmanel F (2008) Report on integration of smart/intelligent tags in products. Deliverable D4.3 of the SToP project

Courtois NT, Nohl K, O'Neil S (2008) Algebraic attacks on the crypto-1 stream cipher in MiFare classic and oyster cards. Cryptology ePrint Archive, Report 2008/166

Devadas S, Suh E, Paral S, Sowell R, Ziola T, Khandelwal V (2008) Design and implementation of PUF-based "Unclonable" RFID ICs for anti-counterfeiting and security applications. In: IEEE International Conference on RFID, Las Vegas, Nevada, USA, 16–17 April pp 58–64

Eisenbarth T, Kumar S, Paar C, Poschmann A, Uhsadel L (2007) A survey of lightweight-cryptography implementations. IEEE Design Test Comput 24(6):522–533

Feldhofer M, Wolkerstorfer J, Rijmen V (2005) AES implementation on a grain of sand. IEE Proc Inf Secur 152(1):13–20

Hein D, Wolkerstorfer J, Felber N (2008) ECC is ready for RFID – a proof in silicon. In: Conference on RFID security, Budaperst, Hongria

Hopkins D, Kontnik L, Turnage M (2003) Counterfeiting exposed: protecting your brand and customers, 1 edn. Wiley, Hoboken, NJ

Juels A (2006) RFID security and privacy: a research survey. IEEE J Selected Areas Commun 24(2):381–394

Koh R, Schuster E, Chackrabarti I, Bellman A (2006) Securing the pharmaceutical supply chain. Auto-ID Labs White Paper, Massachusetts Institute of Technology. http://www.autoidlabs.org/single-view/dir/article/6/160/page.html. Accessed 24 June 2009.

Koscher K, Juels A, Kohno T, Brajkovic V (2008) EPC RFID tags in security applications: passport cards, enhanced drivers licenses, and beyond. Manuscript. ftp://ftp.cs.washington.edu/tr/2008/10/UW-CSE-08-10-02.PDF. Accessed 24 June 2009.

Lehtonen M (2008) From Identification to Authentication – A Review of RFID Product Authentication Techniques. In: Cole PH, Ranasinghe DC (eds) Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography:Raising Barriers to Product Counterfeiting, Springer, Germany

Lehtonen M, Boos D, von Reischach F, Magerkurth C, Müller J, Bogataj K, Gout E, Gourmanel F, Ippisch T, Oertel N, Dada A (2009a) Final evaluation of project results accordingly to the identified requirements. Deliverable D5.4 of the EU-SToP Project, project number IST-034144

Lehtonen M, Michahelles F, Fleisch E (2009b) How to detect cloned tags in a reliable way from incomplete RFID traces. In: 3rd IEEE international conference on RFID – IEEE RFID 09, Orlando, FL, pp 257–264

Lehtonen M, Ostojic D, Ilic A, Michahelles F (2009c) Securing RFID systems by detecting tag cloning. In: Tokuda H, Beigl M, Friday A, Brush A, Tobe Y (eds) 7th international conference on pervasive computing – pervasive09. Lecture notes in computer science, vol 5538. Springer, Heidelberg, pp 291–308

Lehtonen M, Ruhanen A, Michahelles F, Fleisch E (2009d) Serialized TID numbers – a headache or a blessing for RFID crackers? In: 3rd IEEE international conference on RFID – IEEE RFID 09, Orlando, FL, pp 233–240

Leimeister J, Knebel U, Krcmar H (2007) RFID as enabler for the boundless real-time organisation: empirical insights from Germany. Int J Netw Virtual Organ 3(1):45–64

Mirowski L, Hartnett J, Williams R, Gray T (2008) A RFID proximity card data set. Technical Report of University of Tasmania. http://eprints.utas.edu.au/6903/1/a_rfid_proximity_card_data_set.pdf. Accessed on 3 March 2009

Nochta Z, Staake T, Fleisch E (2006) Product specific security features based on RFID technology. In: Saint-workshop, international symposium on applications and the internet workshops (SAINTW'06), Phoenix, AZ, USA, 23–27 January, pp 72–75

Pfizer (2007) Case study: lipitor US recall. http://media.pfizer.com/files/products/LipitorUSRecall.pdf
Picard J (2001) Copy detectable images: from theory to practice. In: NIP24: international conference on digital printing technologies and digital fabrication 2008, Pittsburgh, PA, pp 796–798
Schneier B (2000) Computer security: will we ever learn? Crypto-Gram Newsletter, May 15, 2000
Schneier B (2003) Beyond fear. Thinking sensibly about security in an uncertain world. Copernicus Books, Springer, New York, NY
Staake T (2007) Counterfeit trade – economics and countermeasures. PhD thesis, University of St. Gallen. Dissertation no. 3362
Staake T, Thiesse F, Fleisch E (2005) Extending the EPC network – the potential of RFID in anti-counterfeiting. In: ACM symposium on Applied computing, Santa Fe, New Mexico, USA, 13–17 March, pp 1607–1612
Taxation and Customs Union (2008) Results at the European border – 2007. Report on community activities on counterfeiting and piracy
Tuyls P, Batina L (2006) RFID-tags for anti-counterfeiting. In: Pointcheval D (ed) Topics in cryptology – CT-RSA 2006, The cryptographers' track at the RSA conference 2006. Lecture notes in computer science. Springer, San Jose, CA, USA, pp 115–131

# 第 16 章　绿色物流管理

Yoon S. Chang，Chang H. Oh

**摘要**：为了在众多条例和商业需求中得到发展，环境管理已成为公司需要真正考虑的关键商业问题。许多世界顶尖的公司已经意识到环保技术和管理是公司可持续发展的关键。环境市场已从 2000 年 5320 亿美元持续增长到 2004 年 5900 亿美元，2010 年有望达到 7000 亿美元。不难看出，环保已渗透到商业运营的方方面面。物流领域已经开始关注环保问题。绿色物流的目标是使环保理念贯穿整个产品生命周期。因此，绿色物流成功的关键在于具有贯穿整个产品生命周期的产品实时跟踪能力，以及智能的解决方案服务架构。本章主要介绍基于 RFID 的绿色物流方案和服务。

## 16.1　绿色物流和 RFID

绿色物流将绿色原则运用到传统正向物流和逆向物流的各个阶段，即贯穿整个产品生命周期，从产品设计、原料采购、生产过程、成品发送至客户、销售、产品回收、再制造/再利用和再循环。

尽管对其的相关研究很少，但许多公司对逆向物流和绿色物流产生了浓厚的兴趣。当前研究表明，在整条供应链运作中，只考虑逆向物流过程无法减少商业实践对环境的影响。有的研究建议将逆向物流扩展为绿色供应链，以减小商业实践对环境的影响。也有的研究通过增加废旧产品和包装的回收、收集、再利用、再制造的过程，将传统的单向供应链（如正向供应链）扩展为闭环供应链。

产品生命周期管理（PLM）是管理产品整个生命周期的过程，包括构思、设计、制造、维护和处理。由于绿色物流关系到产品的各个阶段，最好制定一个完善的生命周期方案去管理和协调绿色物流。

因此，我们认为绿色物流应该应用到产品生命周期的各个阶段，包括生命周期初期（BOL）、生命周期中期（MOL）和生命周期末期（EOL）。三个阶段详见图 16-1。

由于绿色物流的范围包括产品的整个生命周期，在产品周期内提供的精确、实时信息将对绿色物流的性能产生重大影响。在这些方面，RFID 设备便成为这种新型物流模式的得力助手。

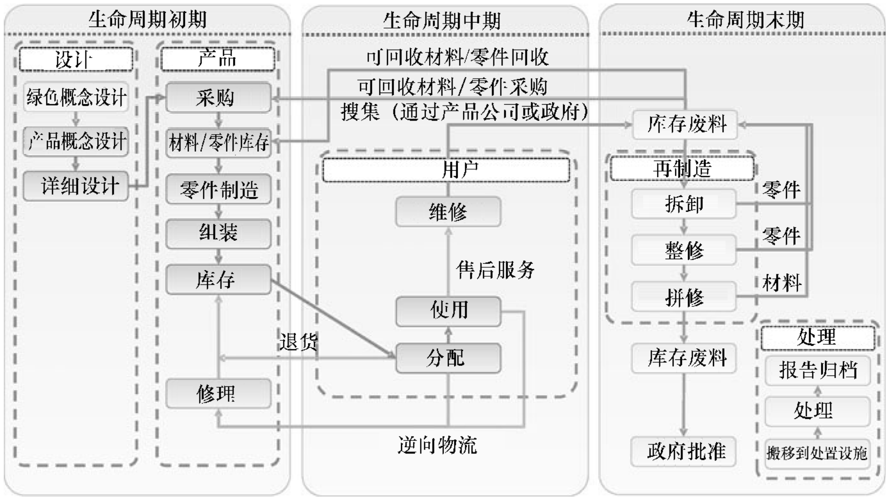



图 16-1 产品生命周期内的绿色物流过程

## 16.2 面向商业环境的绿色物流

### 16.2.1 概述

从环境的角度看，绿色物流包括逆向物流和正向物流。在韩国，越来越多的人认识到了智能绿色物流的必要性。人们重视绿色物流的原因如下：

1）绿色倡议的重要性：针对电器电子设备废弃物（WEEE），欧盟有明文要求，根据每个电器电子设备的总重量不同，回收率和再循环、再利用率分别达到80%和75%以上。

2）绿色物流中 RFID 的跟踪能力：在韩国，先前的 RFID 主要应用于正向物流。对于生命周期末期的设备而言，实时跟踪该设备的制造厂家是至关重要的，RFID 在该应用中可发挥重要的作用。

3）新的解决方案、服务和市场的机会：根据 Aberdeen Group 的近期研究，很多公司至少在逆向物流的某些方面利用了电子数据表程序。

韩国政府资助的基于 RFID 的绿色物流研究联盟，命名为“面向商业环境的绿色物流（GLOBE）”。目前已有四所大学和九家公司加入了联盟。该项目旨在构建一个基于 RFID 的、能够开拓新的市场领域并带来新工艺和增值业务的智能绿色物流方案和服务。图 16-2 所示为该团队的研究领域和开发的项目概述。

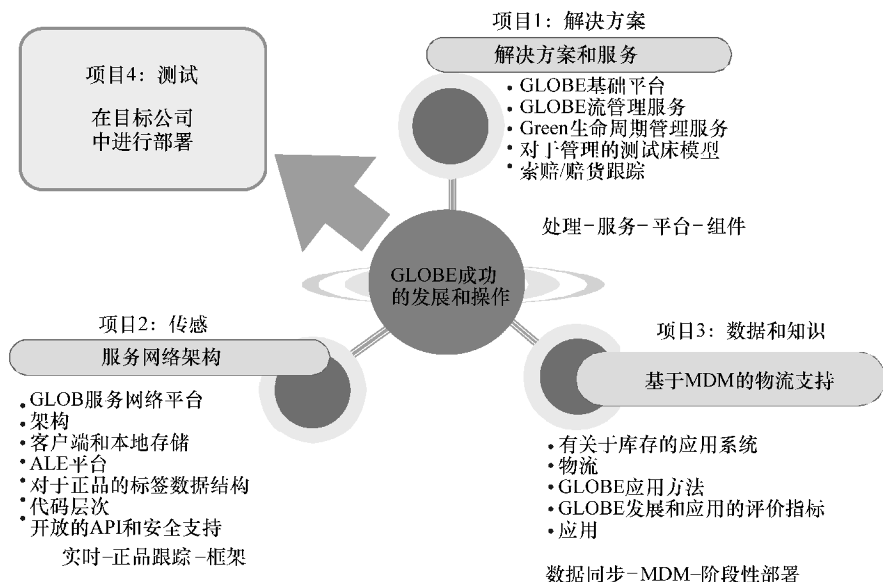



图 16-2　GLOBE 联盟计划及研究领域概况

### 16.2.2　调查研究

许多绿色物流相关的研究工作重点是运输优化、建模、模式转变、减少二氧化碳的排放量等。但是，在“面向商业环境的绿色物流”中，我们将更加注重改进 RFID 的跟踪能力和构建正向及逆向供应链中 RFID 支持的商业模式。

在 GLOBE 的规划阶段，我们从行业合作伙伴那里收集了当前基于 RFID 的绿色物流解决方案和服务存在的问题和需求。

以下是收集的主要问题：

1）正向物流和逆向物流的跟踪能力问题。

2）正向物流和逆向物流的解决方案平台：现有的解决平台通常只能针对正向物流或者逆向物流。

3）回收管理问题：回收管理的能见性不足、处理时间过长、需抛开基于文件记录的回收过程。

4）售后服务管理问题：服务记录和零件库存的可视性不足。

① 目前，尽管产品每个零件具有不同的用法和生命周期，但是，作为一个整体，产品具有相同的保证。

② 非法/假冒的零件替换了重要的配件。

③ 成功、有效的售后服务过程将延长产品的使用寿命，同时能够提高产品的价值。

5）信息收集后的跟踪能力问题：根据韩国相关的电子环境，由于从收集到回收过程的可视性不足，在电子消费品的生命周期末期，存在着产品遗失的问题。典型问题有：收集中心和回收中心上报的数量记录不同，贵重的回收零件丢失（发动机、压缩机、电路板等），二手市场经销商的非法出售，非法填埋和焚烧。

6）再使用问题：许多还可以再使用的产品被处理掉。

7）警告问题：在发生紧急服务情况或紧急事件时，不能提供报警信息服务。

8）未出售产品的管理问题：未出售的产品可通过 S/W 决策，支持动态定价或动态促销的方式进行出售。

## 16.2.3　解决方案和服务

考虑到 16.2.2 节提出的问题，GLOBE 解决方案的目标是利用图 16-3 提供的组件和服务解决正向物流和逆向物流存在的问题。GLOBE 的简要技术架构如图16-3所示。

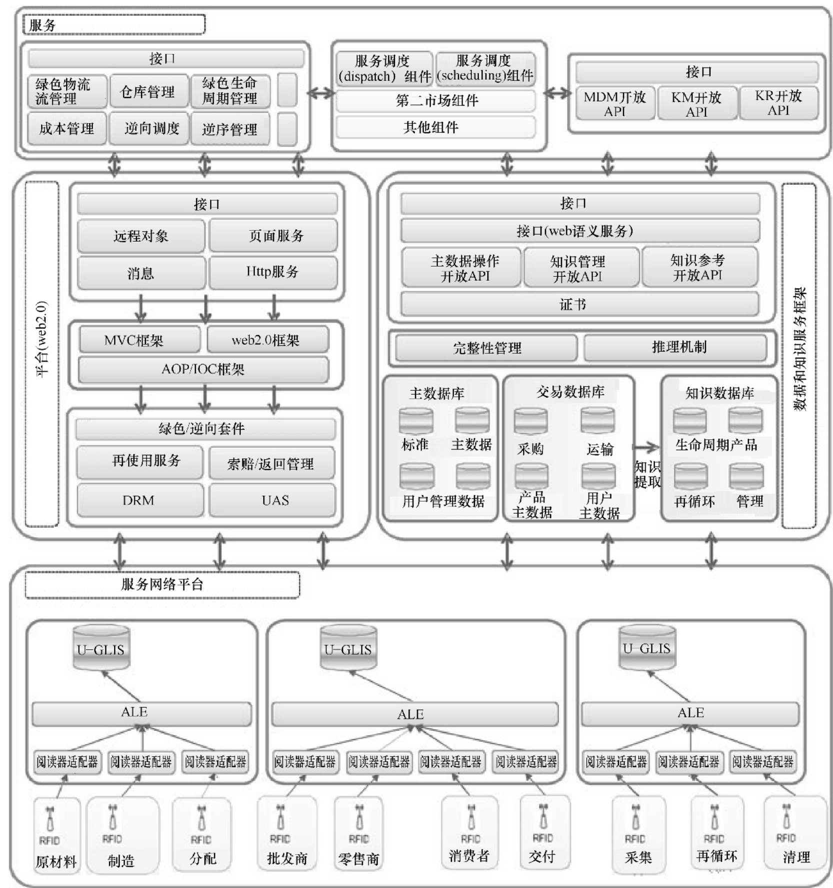



图 16-3　GLOBE 解决方案的整体架构

如图 16-3 所示，基于 RFID 的实时事件主要来自于服务网络平台层。在设计服务网络平台时，我们利用 EPC 网络。在图 16-3 中，U－GLIS 表示普遍存在的绿色物流信息服务，同时，与 EPC 网络中的 EPC 信息服务（EPCIS）相同。人们开发的基于 web 2.0 的平台被用来运营各种应用。该平台使用 MVC（模型－视图－控制器）框架，给物流环境提供合适的布局（参考图 16-4）。Flex 数据服务（FDS）或生命周期数据服务提供了程序模型，该模型自动管理下载到 Flex 客户端的数据集。数据一旦从服务器加载到客户端，数据变化将被自动跟踪，且根据应用的要求，还可与服务器同步。通过利用 Hibernate 应用程序处理关于对象的阻抗失配问题。

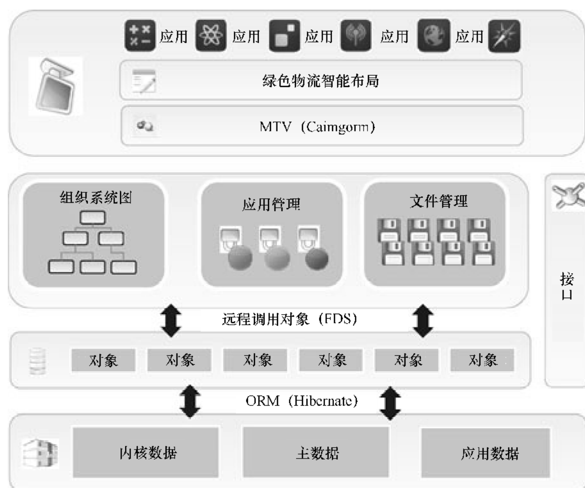



图 16-4　绿色物流平台的架构

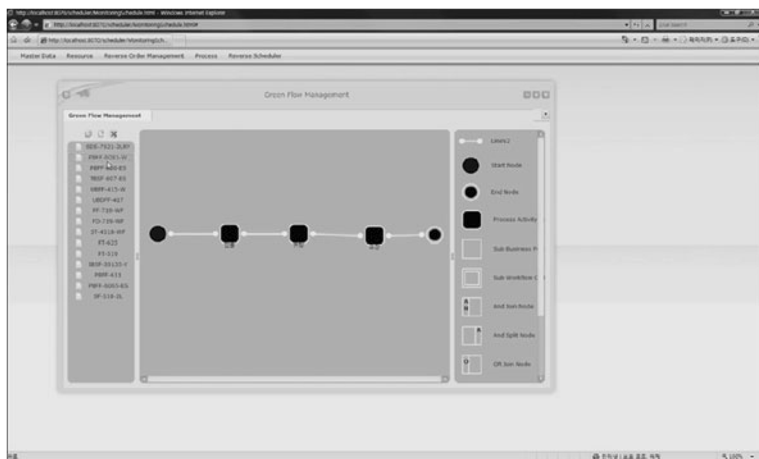



图 16-5　绿色工作流管理的快照

回顾近几个月的工业问题，设计出 8 个绿色物流的服务组件。简要描述如下：

1）逆向物流订单管理服务：正如大多数其他解决方案一样，绿色物流解决方案从订单管理开始。它管理不同的逆向物流订单，如索赔单、售后服务订单、回收利用订单等（对于正向物流订单，我们应用了与大部分现有的商业应用一样的现有概念）。

2）绿色物流的管理服务：它定义了绿色物流链中工作流的行为和属性（见图 16-5）。该服务可追踪正向物流链和逆向物流链。

3）绿色生命周期管理服务：该服务管理成品的生命周期，包括基于活动的生命周期管理，并与成本管理服务联系在一起。如图 16-6 所示，生命周期管理本身与产品的实时活动是密切相关的。该服务的改善可延长产品的使用寿命。例如，智能维护决策，建议寿命尺度评估、依据寿命尺度降低产品的处理量等。

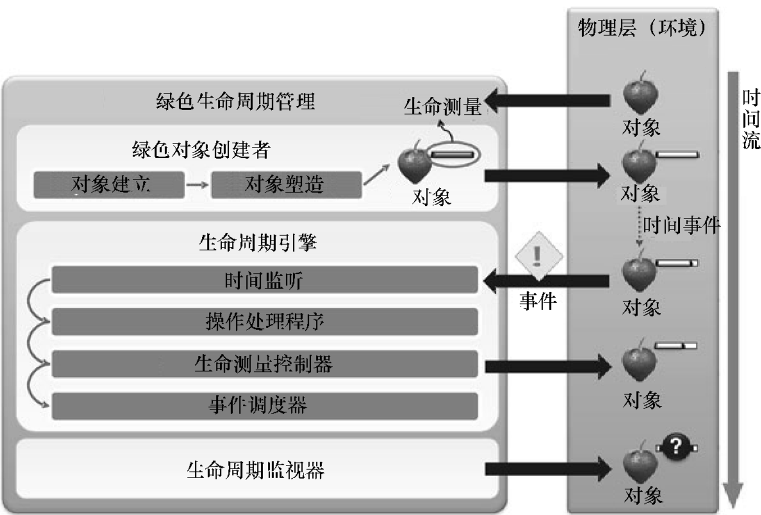



图 16-6　绿色生命周期管理概念

4）仓库管理服务：该服务涵盖了一般的仓储管理服务及售后服务（A/S）过程中的产品管理（例如，临时管理正在维修的产品）。它还负责配件的管理。较好的仓库管理有利于延长产品的使用寿命。

5）逆向调度服务：该服务根据逆向物流订单管理和绿色物流管理提供的信息生成工作时间表。

6）成本管理服务：考虑产品的生命周期信息和行为（如生命周期值），该服务可计算产品的成本。

7）保修管理服务：该服务可跟踪质量信息，并根据产品的成本信息和生命周

期信息提供保修审查，如售后服务。

8）通知服务：电子邮件通知服务，短信通知服务，网址通知服务。利用该服务，任何机构都可通过各种方式响应服务事件（如实时服务、伪实时服务等）。

## 16.3　试点案例研究：基于 RFID 的售后服务过程

测试点选择在净水器公司，该公司对 RFID 售后服务系统进行测试，并对主要用户的需求进行汇总。

1）当前，试点公司的正向物流过程和逆向物流过程的可视性有限。因此很难保证产品生命周期内的整体可视性。例如，没有正向物流行为（如销售、配送等）和逆向物流行为（如服务历史、处理信息）的信息链接。

2）公司希望找到更绿色的服务调度方式。如今，他们只能尽量满足客户的要求，如及时服务。

3）公司希望阻止零部件的非法分配/使用，如过滤器。一个过滤器的价格通常在 200 美元左右，且公司已经严肃对待零部件的非法使用的问题。

公司使用基于条形码的系统鉴定产品类型，但不使用该系统进行产品追踪，而是采用人工的方式跟踪产品。图 16-7 所示为测试点公司的 RFID 物流流程。为了实现整体的可视性，我们已确定了数据收集点和需采集的数据。“JA/S 中心”表示

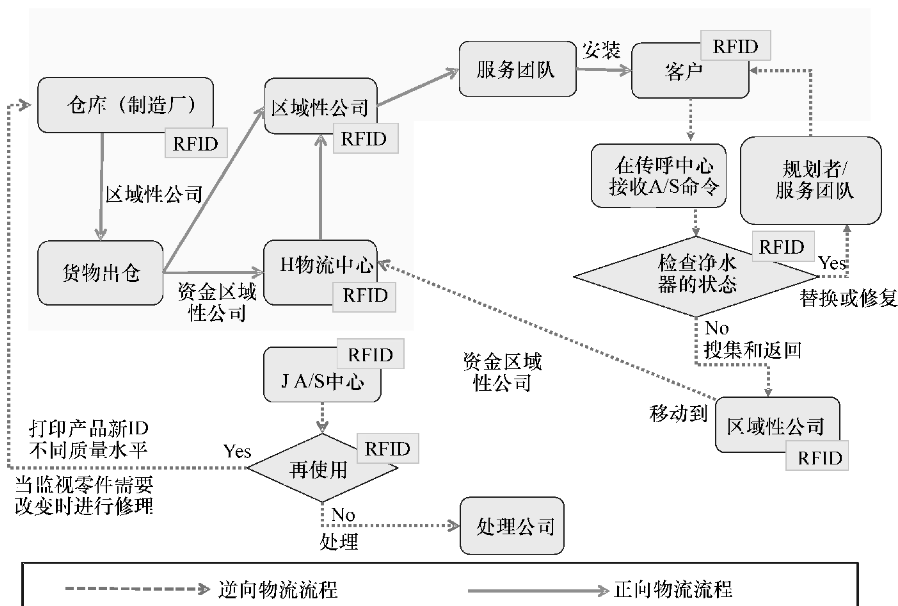



图 16-7　测试点公司的物流流程

“J”城市的售后服务（A/S）中心，“H 物流中心”表示靠近韩国首都——首尔的物流中心。“规划者”是现场访问客户并执行简单维修任务的现场服务队，如清洗或更换过滤器的工人。“服务团队”是指受雇于公司的一组技术人员。

测试点公司的售后服务目标是响应客户的要求，如及时服务。根据用户的需求，从不同的角度研究了 A/S 类型，并将其分为以下三类：

1）远程服务。

2）面向客户的服务。

3）面向客户支持团队的服务。

由图 16-8 可知，性价比最高的服务是远程服务。对面向客户的服务（见图 16-8），测试点公司能够获得较高的客户满意度，但需要服务团队前往全国各地为客户服务，因此会增加成本。面向客户的服务（见图 16-8）易于实现及时的要求，但难以有效地利用资源（如卡车装载的备件数量，其空间并未被完全利用）。另一种被称作绿色 A/S 的类型，具有行程短、成本低的特点，重要的是服务公司可以更有效地安排售后服务队的日程。

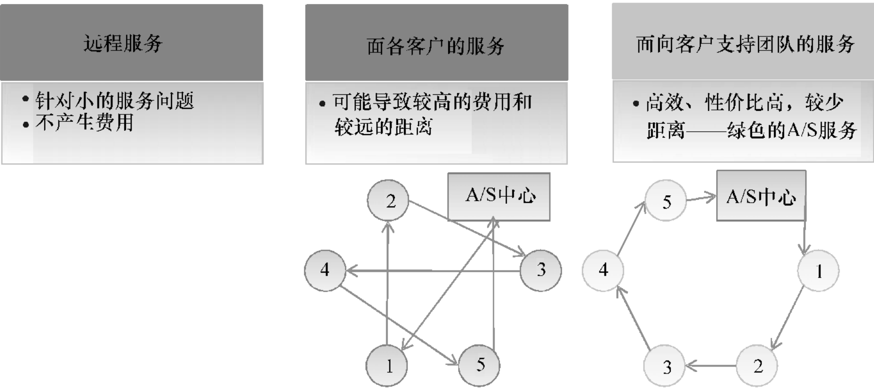



图 16-8　支持的客户类型

图 16-9 显示了 A/S 过程和 GLOBE A/S 解决方案的关系。A/S 需要对从 A/S 请求到 A/S 完成的整个过程进行跟踪，因为客户服务团队有时需要物品的采购（包括客户信息）和制造等必要的历史信息。通过实行 RFID 系统，A/S 不仅具备产品跟踪的能力，而且还能够对产品进行单独和自动的跟踪。

图 16-10 所示为用户界面。左图是 PDA 屏幕显示的逆向物流信息，右图为图形用户界面（Graphical User Interface，GUI），显示了正向物流和逆向物流的追踪信息。

A/S 的另一个关键问题是服务零部件管理和伪造/假冒服务零部件的分配问题。在水净化产业中，过滤器成本超过 200 美元，成为造假者制造假冒过滤器的经济动

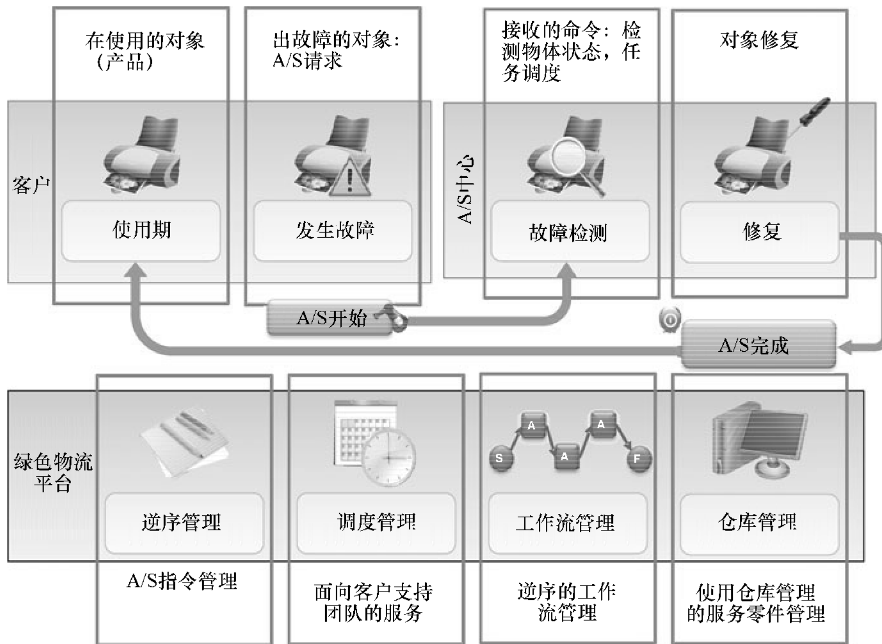



图 16-9　在 A/S 模型中的 GLOBE 组件

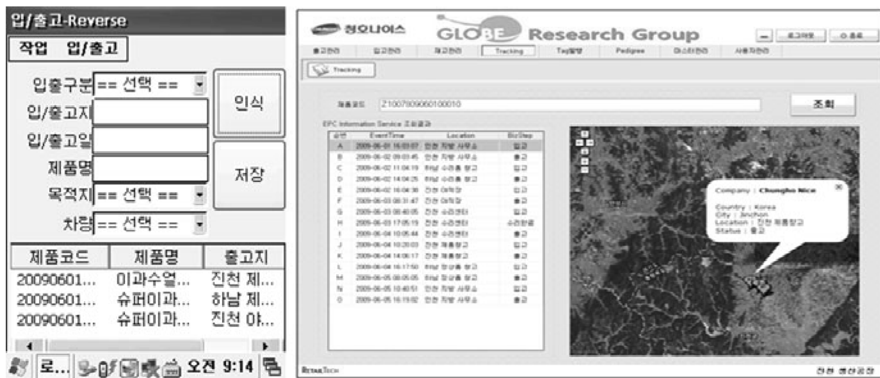



图 16-10　物流追踪（正向和逆向两个方向）

机。仓库管理解决方案被用于零部件管理和 A/S 返修产品管理。图 16-11 显示了基于 RFID 的非法零部件管理解决方案。现在有两种方法可以阻止非法零部件的使用。

第一种方法，将 RFID 阅读器安装在过滤器上。当“规划者”安装过滤器时，

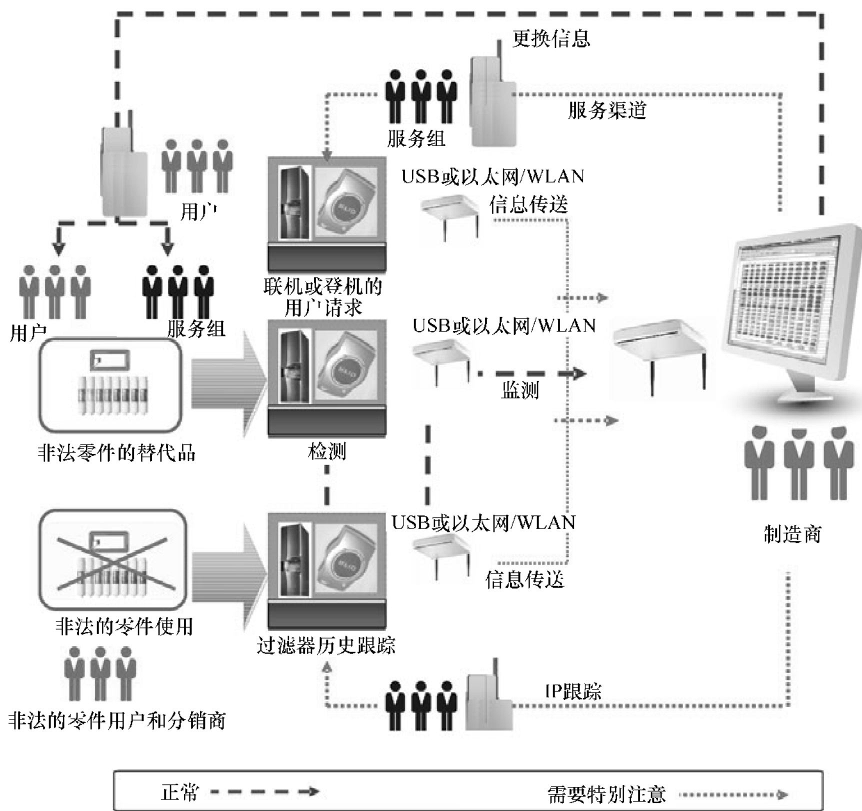



图 16-11 在线 A/S 防止零部件的非法使用

RFID 读取过滤器零部件的编号信息，读取的信息被发送到总部服务器，然后从数据库中证实零部件的编号。第二种方法，“规划者”使用具有 RFID 功能的 PDA 读取过滤器的零部件号码，然后将号码发送到总部服务器或者将信息传送至 USB 设备以进行脱机验证。

在本案例研究中，测试点公司发现基于 RFID 的 A/S 过程可能带来的潜在效益如下：

1）消除手工操作引起的错误（如数据输入错误）。

2）提供绿色 A/S 调度的可能性。

3）在正向和逆向物流过程中，提供产品整体过程的可视性。

4）防止假冒零部件的分配和使用。

在上述介绍的这些防止假冒零部件的方法中，公司更倾向于使用具有 RFID 功能的净水器，因为他们可远程检测净水器的性能状况，同时还能够识别非法零件。

但由于当前 RFID 阅读器的成本较高，具有 RFID 功能的净水器还需要一些时间才能上市。

## 16.4　结论

本章介绍了基于 RFID 的绿色物流解决方案及服务条款。在设计解决方案和各种服务的过程中，我们采用了如 EPC 网络体系结构和 web2.0 的行业标准。在韩国的净水器制造公司进行了简单的试点案例研究。试点研究证实 RFID 可通过改善跟踪能力来解决公司现存的问题。

## 参考文献

Aberdeen Group (2006) Revisiting Reverse Logistics in the Customer-Centric Service Chain, September 2006. http://www.aberdeen.com/Aberdeen-Library/3475/RA_RevLogReport_RG_3475.aspx. Accessed on 24 June 2009

Beamon BM (1999) Designing the green supply chain. Logistics Inf Manage 12:332–342

Bintrup A, Ranasinghe DC, McFarlane D, Parlikad AK (2008) A review of the intelligent product across the product lifecycle. In: International product lifecycle management conference (PLM08), Seoul, Korea

EPC Global Inc (2007) The EPCglobal architecture framework, Final version 1.2. http://www.epcglobalinc.org/standards/. Accessed 20 October 2010

GLOBE Research Group (2009) http://www.globe.re.kr. Accessed 20 October 2009

Green Logistics (2009) http http://www.greenlogistics.org/. Accessed 20 Oct 2009

Ouertani MZ, Srinivasan R, Parlikad AK, McFarlane D, Ranasinghe DC, Kelepouris T, Lopez TS, Thorne A, Harrison M, Brintrup A, Cuthbert R (2009) Integrated asset maintenance: a lab-based demonstrator. In: 16th CIRP international conference on life cycle engineering (LCE09), Cairo, Egypt

Parlikad AK, McFarlane D (2007) RFID-based product information in end-of-life decision making. Contr Eng Pract 15(11):1348–1363

Starik M, Marcus A (2000) Special research forum on the management of organization in the natural environment: a field emerging from multiple paths, with many challenges ahead. Acad Manage J 43(4):539–546

Van Hoek RI (1999) From reversed logistics to green supply chains. Supply Chain Manage 4(3):129–134

WEEE (2009) European Commission's WEEE Directive. http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm. Last Accessed October 20, 2009

# 第 17 章　应用于计算环境的面向对象的 RFID 业务流程建模

Xiaohui Zhao, Chengfei Liu, Tao Lin

**摘要**：RFID 作为一项跟踪技术，现已被广泛用于提高企业信息系统的环境认知。这种认知将极大地促进业务流程的自动化，从而提高了运作的效率和精确性。为将业务逻辑集成到具有 RFID 功能的应用中，本章将讨论 RFID 技术对当前业务流程管理的影响，并介绍了面向对象的业务流程建模的特点。本章首先对采用面向对象的 RFID 业务流程建模方法的合理性和优势进行了探讨，然后介绍了 RFID 数据管理和建模流程的要求及原则。最后，引入两种典型的解决方案以进一步阐述流程建模方法以及将业务逻辑/业务流程合并到 RFID 边缘系统。为验证这两种方案的适用性，我们对配送中心案例进行了详细的研究。

## 17.1　引言

RFID 是一种自动识别、跟踪和溯源物品的技术。如今，商务全球化和商业化促进了 RFID 技术在零售业、制造业、供应链、军事及医疗保健等领域的广泛应用。被标记物体的信息和运动轨迹信息通过阅读器传输至 RFID 中间件系统，可以触发商业交易，无需人工参与，便可实现对对象级信息处理的商业自动化。这些特点将改变处理物质世界的模式，从基于数量的模式转变为基于对象的模式。在这样的背景下，研究协会和行业公司都正努力通过融合 RFID 边缘系统和应用系统将业务逻辑和实时物品级感知相结合。

美国 Forrester 研究公司的 Overby 指出，RFID 作为一项功能强大的数据感知/采集技术，为商业应用带来了许多运营效益，这些商业应用要求具有精确的数据或足够的数据采集点。对于一般的业务流程管理而言，RFID 能够追踪供应链上商品的搬移状态，从而利于公司缩短业务周期、检测和解决配送异常、预防缺货状况、精确定位回收产品中的受损产品，同时最大限度地减小库存和保障库存安全水平。

这种实时可见性将有助于以下业务流程管理，这些流程管理的商业价值备受追捧：

1）现场办公。通过缩短响应时间可明显提高运营效率。

2）提高业务流程的生产力。例如，当货盘通过入口时，RFID 可同时读取货

盘上所有集装箱的信息，或读取几乎所有离开生产单元的产品的序列号。

3）提高商业智能灵敏度。实时可见性支持供应商管理库存计划，有助于防止储存库的收缩和分流（如难以追踪的库存损失和变化），通过提高产品识别能力来防止假冒产品。

通过将 RFID 数据管理应用于业务流程管理，可有效促进业务流程的自动化，进而改善当今商业运营的灵敏度和效率。为实现这个最终目标，本章介绍了 RFID 功能应用的业务流程建模。本章的内容主要基于对 RFID 事件/数据的研究，重点强调和讨论了面向对象的业务流程建模。

## 17.2　发展现状

RFID 技术团体在 RFID 事件处理方面投入了很多精力，特别是数据清洗和过滤。“基于数据流和共享事件”（SASE）处理定义了一种 SQL，如聚集 RFID 事件的复杂事件语言。SASE 系统利用永久性的存储组件以支持对历史数据的查询，并将来自流处理器的查询结果与存储的数据进行关联。此外，Bai 等人和 Park 等人采用扩展的滑动窗口控制技术和索引技术改善 RFID 事件流的连续查询处理性能。Hu 等人从能源效率的角度解决了查询问题。Wang 和 Liu 对 RFID 数据的时间管理问题进行研究。他们利用传统的数据库查询技术处理 RFID 数据的时间关系；在后续工作中，Wang 等人定义了一套时间复杂事件的构造函数，同时提出了两种分区机制以支持快速查询。然而，上述研究工作没有针对事件管理中的延迟问题及如何将业务流程自动化融入到 RFID 事件管理中给出具体的解决方案。

经过数据清洗和过滤之后，RFID 数据/事件将被传输至中间件系统进行语义启发。Ranganathan 和 Campbell 提出了一套中间件系统，允许异构代理利用本体获取上下文信息并统一这些知识。Yau 等人构建的可重构的上下文敏感中间件系统可以开发上下文敏感的普适计算软件。在服务计算领域，Gu 等人开发了一个面向服务的中间件系统用来采集、发现、解释及访问各种上下文信息，从而构建感知上下文的服务。总之，这些中间件系统通常是为通用传感器而设计的，因此它们并没有充分考虑 RFID 技术的不同特点。对于 RFID 而言，Kim 等人为 EPC 网络中的业务流程提出了一个业务感知架构。在该架构中，业务感知层位于传统 RFID 数据中间件和上层应用之间，该架构主要解决 RFID 原始事件向业务事件的转换，以及上层业务服务的调用。

对于业务流程管理而言，为促进数据密集情况下的业务流程建模，诸多学者相继提出了面向对象（或面向加工品，加工品代表主要业务对象或文件）的业务建模方法。该方法使用对象表示捕获过程目标的信息实体。商业规则用于聚集相关的业务，以及定义这些实体对实时动态业务的响应。与传统的业务流程建模方法相

比，面向对象的建模方法主要针对业务关联和行为，而不是活动序列。因此，面向对象的建模方法使用完整的数据驱动执行机制，从而使业务参与者清楚能够做什么而不是应该做什么。

## 17.3 业务流程建模方法在 RFID 中的应用

许多研究人员对典型供应链场景（如配送中心等）下的 RFID 应用进行了调查研究。相比传统应用，RFID 功能的应用具有以下鲜明的特征：

1）行为由 RFID 数据触发，而非人为触发。

2）由于阅读器不断地报告所有被阅读对象的信息，RFID 系统可能会产生大量的事件数据。

3）许多 RFID 标记对象的移动呈现出群集现象，因为许多 RFID 标记对象表现出相似的行为，特别是在包装和运输阶段。

4）相同类型、相同批次产品的业务流程可能不同，然而，很难预先明确产品及其相应业务流程之间的关联。

以上这些特征为业务流程建模的部署带来了困难。对于利用 RFID 技术提升业务流程自动化，Mark Palmer 将“消化源头附近的数据”、“简单事件转变为有意义的事件”和“缓存上下文”作为 RFID 数据管理的三个原则。这些原则强调了数据管理的以下几个方面：

1）原始 RFID 数据需要在边缘系统进行清洗、重组和总结处理，以确保较好的可靠性并预防中央 IT 系统的数据泛滥。

2）将简单 RFID 读取事件转变为有意义的事件，以从离散事件中获得所需的知识。

3）利用缓存参考数据和相关的业务场景，以进一步了解和处理特定业务环境下的 RFID 事件数据。

这些原则强调根据语境业务流程逻辑处理边缘端事件。另外，同一边缘基础设施系统中可并存多个不同业务流程，说明系统具有可重用性和独立性。传统的基于活动的工作流程主要针对控制流的依赖性对业务流程进行建模，其中，活动是按照预先定义的活动序列而不是根据语境的动态性进行的。为适应基于事件的通信并有效地利用实时对象信息，本章将从面向对象的角度对业务流程进行建模，并根据语境动态性驱动业务流程。

面向对象的方法被广泛用于对现实应用进行建模，它具有多态性、继承性和封装三个典型特性。表 17-1 对这三个特性及其在 RFID 应用环境中的体现进行了比较。

表 17-1　面向对象的方法论的特征及其在 RFID 应用环境中的比较

| | 多态性 | 继承性 | 封装 |
|---|---|---|---|
| 含义 | 一种类型通过另外一种类型表现出来 | 一个类使用另一已定义的类的属性和行为。该类被称为派生类 | 用于将数据与对数据进行操作的方法进行捆绑的一种语言结构 |
| 在 RFID 应用环境中的体现 | 一个实体类型有多个定义并且其方法有多种实现技术。一旦部署在特定的场景，该实体将根据实际情况选择合适的定义和实现技术 | 通过增加新的方法或属性可对相关实体进行扩展。在特定的场景中部署已定义的类时，该特性尤其有用 | 每个类可以对其操作/方法的实现技术进行封装。另外，复合类能够把相关的类、涉及的事件模式和业务规则封装在一个新的类中 |
| 举例 | 如果货盘中的货物均为同一类型，那么包装车间的生产线可以包装来自货盘中心的货物，以达到平衡重量分布的目的。另外，也可以等比例地包装货物，以匹配出不同类型货物的不同产品尺寸 | 在配送中心，叉车所属的类可利用装载或卸载货盘的方式进行具体化。当需要监控车辆的位置时，可根据其最新位置、最新速度属性等进行具体化 | 相关的类、规则及事件模式能够被封装在可部署的 RFID 应用场景中。一旦这种 RFID 应用场景中部署了数据驱动的中间件系统，业务逻辑可以被下推到 RFID 边缘系统 |

从表 17-1 可知，从面向对象的角度出发，在 RFID 的应用环境中将面向对象的方法应用于业务流程建模具有高度相似性和巨大的潜在效益。为进一步论证该观点的合理性，我们对面向对象的业务流程建模方法与传统的以过程为中心的建模方法进行了比较。

在以过程为中心的方法中，每道工序的设计是为了描述实现业务功能的过程。根据嵌入式业务逻辑，该过程可能需要多个相关组织单位、人员、服务等参与，建立一个复杂的模型。通常情况下，这种模型可表示为简单易读的图表形式。相比之下，面向对象的方法不遵守活动控制流，而是利用对象和相关法则对业务环境和行为进行建模。由一组对象协同合作完成某个目标，这种协同合作便生成了业务环境。表 17-2 对这两种方法进行了比较。

表 17-2　比较以过程为中心的方法和以对象为中心的方法

| | 以过程为中心的方法 | 以对象为中心的方法 |
|---|---|---|
| 建模重心 | 注重功能 | 注重目标 |
| 业务逻辑被嵌入到… | 预定义的过程模型 | 业务环境和行为 |
| 主要内容 | 活动序列 | 对象和陈述规则 |
| 执行机制 | 相对较为复杂 | 无足轻重 |
| 可重用性 | 无明确的过程继承支持 | 通过类继承可高度重用 |
| 可读性 | 简单易读 | 难以读懂 |

由表 17-2 可知，面向对象的方法具有表达单一物品级行为的强大功能。不同于以过程为中心的模型方法，基于规则的方法对物品进行逐个处理，从而有效地支配商业交易。与以过程为中心的方法相比，由于规则明确定义了系统对特定事件和条件的响应方式，因而规则能够高度自动化和高效地处理大量的物品。这些特性验证了面向对象的方法更适合在 RFID 的应用环境中进行业务流程建模。

在下节中，我们引入了两种模型以进一步说明如何将面向对象的业务流程建模方法应用到 RFID 环境。

## 17.4　RFID 应用环境中两个业务流程的建模模型

### 17.4.1　面向对象的业务场景模型

继面向对象的建模方法后，Zhao 等人提出了一种可对 RFID 应用环境中的业务流程进行描述的模型。

该模型提取出业务场景中涉及的实体，如产品、设备、人员、工具和相关文件等，并进行分类。持续的 RFID 标签读取事件序列能够反映出被读对象的运动情况。利用事件模式，可以将这些运动诠释为具有商业意义的事件。根据业务规则，各对象可通过更新它们的内部状态或者调用外部操作对这些触发事件进行响应。因此，业务流程是通过各对象之间的相互作用实现的。通过设置多个规则集，各对象可同时服务多个业务流程。通过重新定义业务规则，可根据客户的要求制造 RFID 应用环境，因此可重新配置 RFID 边缘系统以满足新的要求。

图 17-1 对该模型中的主要概念间的关系进行了图解说明。其中，阴影区域代表 RFID 应用环境的静态部分，它包括类、规则和事件模式。一个组合类可能包括基类和组合类，通过扩展后者，一个类可以继承另一个类的特征。事件模式可从标签读取事件中提取业务的含义，业务规则也可以利用事件模式定义状态转换和操作调用的条件。RFID 应用环境定义了一个独立的、自动的和密封的实体，该实体可调用边缘系统或外部系统的操作命令对实时事件进行响应。无阴影区域则表示运行时部分，它描述了各对象之间的相互作用。对象的状态和属性值反映了对象的生命周期运行情况。当 RFID 标记的对象出现在 RFID 阅读器的识读范围内时，RFID 阅读器将发出读取事件。

这种建模方法特别强调了面向对象的封装和继承特性。每种类都对状态转换相关的属性、操作和规则进行封装，而没有考虑外部事件。这些特性有利于构建的业务场景的重复使用，且可通过重新使用预定义的类提升系统的可配置性。

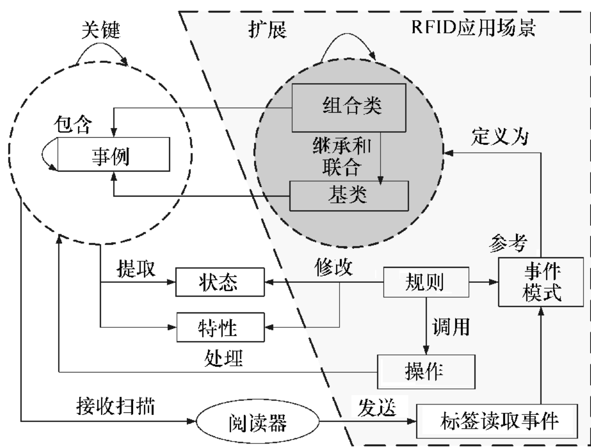



图 17-1　面向对象的业务模型的元模型

## 17.4.2　基于事件 – 演算的建模方法

正如前面的讨论，事件处理在 RFID 数据管理中的作用举足轻重。因此，事件表示和处理的效率是业务流程建模方法的衡量指标。

Zhao 等人提出的模型继承了面向对象的建模思想，并将事件演算作为事件和建模的重要工具。事件演算是一种基于逻辑的形式，能够根据已发生的事件内容推断事件发生的真实性、时间和形式。事件演算以“任何的变化都是有原因的，不会出现自发的变化”的假设为前提。事件演算尤其适用于 RFID 应用的丰富事件环境中基于事件的规则设计和分析。与其他事件/状态建模方法相比，如 UML 状态图和事件过程链，事件演算能够更准确地描述间接或非确定性的影响、并发性和连续变化。

事件演算主要由事件（或动作）、变量和时间点构成。变量的数值或布尔值随时间变化。在这种方法中，变量只限于命题变量；量，简单说就是布尔变量（注意，命题变量可被扩展为情景变量，即变量的范围被扩展）。事件演算建模的场景是由与变量、事件和时间点为参数的谓词和公理组成的。表 17-3 给出了主要的事件演算谓词。

**表 17-3　事件演算谓词**

| 谓　　词 | 注　　释 |
|---|---|
| *Initiates*（*e*，*f*，*t*） | *t* 时刻，变量 *f* 在事件 *e* 后开始保持不变 |
| *Terminates*（*e*，*f*，*t*） | *t* 时刻，变量 *f* 在事件 *e* 后停止保持不变 |
| *InitiallyP*（*f*） | 变量 *f* 从时刻即初始时间点保持不变 |

（续）

| 谓　　词 | 注　　释 |
| --- | --- |
| $InitiallyN\ (f)$ | 变量 $f$ 不是从时刻保持不变 |
| $t_1 < t_2$ | 时间点 $t_1$ 位于时间点 $t_2$ 之前 |
| $Happens\ (e,\ t)$ | 事件 $e$ 在时刻 $t$ 发生 |
| $HoldsAt\ (f,\ t)$ | 变量 $f$ 在时刻 $t$ 保持不变 |
| $Clipped\ (t_1,\ f,\ t_2)$ | 变量 $f$ 在时刻区间（$t_1$，$t_2$）终止 |
| $Declipped\ (t_1,\ f,\ t_2)$ | 变量 $f$ 在时刻区间（$t_1$，$t_2$）内被初始化 |

规则和查询构成了模型的主要框架。考虑到变量值的变化，规则对系统的动态行为起到了规范的作用。规则 $r$ 的定义如下：

$$P \leftarrow \bigvee_{i=0}^{n} \left[ \left( \bigwedge_{j=0}^{m} \exp_{ij} \right) \vee \exp_i \right]$$

式中，$P \in \{Initiates\ (e,\ f,\ t),\ Terminates(e,\ f,\ t),\ HoldsAt(f,\ t\ )\} \cup \{$特定域谓词$\}$；

$\exp_{ij}$ 和 $\exp_i \in \{Happens\ (e,\ t),\ HoldsAt\ (f,\ t)\} \cup \{$特定域谓词$\}$。

查询可用于检索给定时间点的变量值。由于系统响应的变化，查询结果可以触发适当的操作。给定时间点 $t$ 处查询变量 $q_t$ 定义为

$$\leftarrow \Delta(t_0,t)\ \wedge\ I_{t0}\rho_t$$

式中，$\rho_t$ 表示以多个 $HoldsAt\ (f,\ t)$ 谓词的联合形式出现的查询目标语句，即

$$\rho_t = \bigwedge_i HoldsAt(f_i,\ t)$$

$\Delta(t_0,t)$ 表示从时间点 $t_0$ 到 $t$ 之间发生的事件集；$I_{t0}$ 表示 $t_0$ 时刻的初始设置，即 $t_0$ 时刻的变量值。

图 17-2 对上述概念之间的关系进行了图解。RFID 模式中包含了若干 RFID 类，RFID 类指定了描述 RFID 场景中特定域规则的变量和属性。这样的 RFID 场景代表了构建时的一个独立系统，而 RFID 环境则描述了运行时的动态变化，包括起始时刻的变量值和连续事件流。查询用于检索实时变量值，边缘系统可通过操作触发器调用适当的操作来响应查询结果。

基于事件演算的方法特别适用于事件的聚集和导出。由于变量值和不同时间点的事件之间存在依赖关系，特定时间点的变量值会受到前一个时间点的变量值或事件的影响。这种现象导致的结果是，每次查询执行都需要计算从 $t_0$ 时间点到当前时间点之间发生的所有事件。随着时间的推移，事件的数量将趋于无穷大；反过来，查询执行时间也无穷增大。由于 RFID 查询是连续/周期性运行的，可通过将事件序列切分为若干个有限长度的序列以及重用前一时间点在前次查询结果中的变量值的方式来优化 RFID 查询性能。Zhao 等人对该问题进行了研究并提出了

2 – Block缓冲机制，以缩短查询执行所需的必要事件序列。

2 – Block 缓冲机制利用两个缓冲区来记录对后续的查询具有滞后影响的数据。时间点位于较前位置的缓冲区被命名为后置缓冲区（$bb$），另一个称为前置缓冲区($fb$)。每个缓冲区都储存着特定时间的变量快照以及在特定时间内发生的事件。

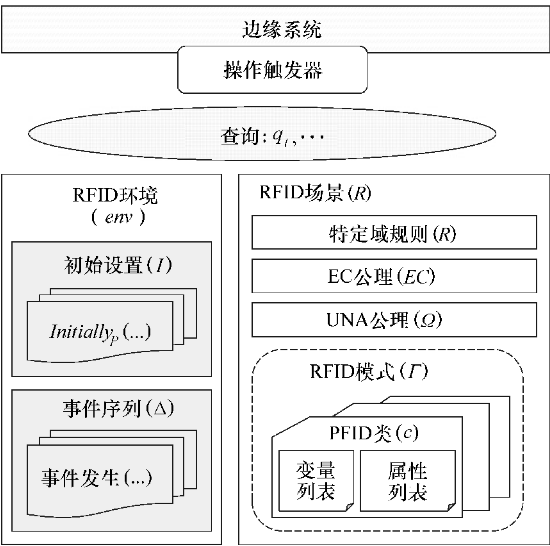



图 17-2　RFID 数据管理模型结构

图 17-3 对缓冲机制的查询原理进行了图解。假设查询 $q_t$ 在 $t$（$t > fb.t$）时刻开始运行且所需的历史数据在 $fb.t$ 之后出现，则通过计算 $fb.t$ 时刻缓存在 $fb$ 中的事件和从 $fb.t$ 时刻到 $t$ 时刻之间缓存的事件便可获得这些历史数据。假设查询 $q_t'$ 在 $t'$($t' > fb.t$) 时刻开始运行，且 $q_t'$所需的数据为 $fb.t$ 时刻之前出现的历史数据，这表明 $x$ 间隔内的事件和变量值对 $q_t'$具有延迟影响，如图 17-3 所示。对于 $x$ 间隔内的时间点上出现的变量值（不包括 $fb.t$）则不能通过计算缓冲在 $fb$ 中的事件获得，这是因为这种计算方式可能会对以往历史数据进行查询。在这种情况下，可以利用 $bb$ 缓冲区中的变量快照和缓冲事件来计算这些变量值。

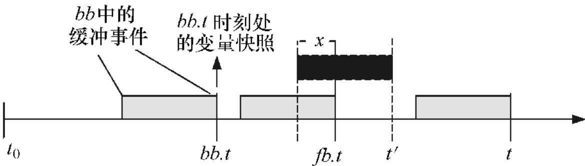



图 17-3　2 – Block 缓冲机制

为测试性能改善程度，研究人员对 2 – Block 缓冲机制的性能进行了一系列实验测试。与简单机制相比，2 – Block 缓冲机制能够把查询执行时间从指数时间量级降低到近似平坦时间的量级。相比周期性机制，2 – Block 缓冲机制的查询时间减少了约 50% 。

## 17.5 案例研究

为更好地阐明面向对象的模型的可行性和优越性，我们以配送中心的货物包装出货为案例进行研究。

图 17-4 所示的业务流程描述了配送中心的货盘包装流程。该流程以业务流程建模标记（Business Process Modeling Notation，BPMN）图的形式进行了表示。

当接到客户订单时，该流程将同时处理以下三种业务，即将货盘送至配送中心、从库存中筛选订购的货物和将筛选出的货物送至配送中心。筛选出的货物被送至配送中心后，包装站点将定期地在两条包装线上对其进行包装。包装线 A 只对相同类型、且数量足以装满整个货盘的货物进行包装，包装线 B 则负责部分包装和混合包装。所有的订购货物包装完毕后就会被送往目的地。

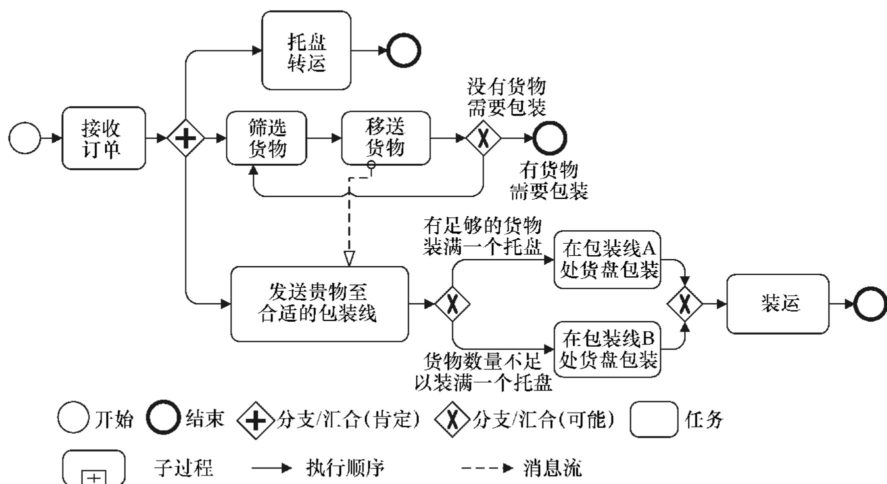


图 17-4 物品包装过程的简化业务流程图

### 17.5.1 基于面向对象的业务场景模型的建模

面向对象的场景包含了多个实体，如装配线、叉车、包装站点等。这些实体都采用了面向对象的业务场景模型方法，为了弄清楚它们之间的关系，首先需要把这些实体抽象为适当的类。

图 17-5 所示为“装配线”类的状态转移图。该类对配送中心装配线的属性和操作进行了抽象化。该类的一个对象代表了一条具体的装配线，从技术的角度而言，就是对处于运行时间的实际业务数据的物化。在面向对象的业务场景模型中，一个类对象的状态就是对授权实体的内部阶段的指示，并有助于操控对象的行为。图 17-5 所示的状态转移图对类的状态以及一定条件下状态之间的转换进行了图解。

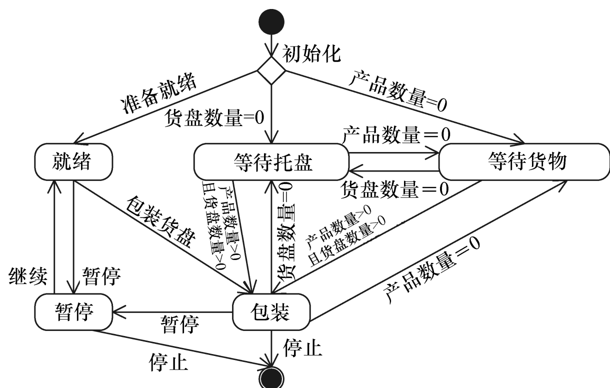



图 17-5　“装配线”类及其状态转移图

依据该类对货盘包装场景的定义见例 1。在该场景中，引入了事件 *Arrives* 和 *sentOff*，它们可以从 RFID 原始事件中获得并分别指示产品的到达和出货。

例 1. 货盘包装场景的部分内容。

类

*AL*——装配线。

事件

*Arrives*——产品到达装配线。

*sentOff*——出货。

计数器

*emptyPallets*——该计数器记录着装配线上的空货盘数量。

规则

（1.1）*changesTo*（*AL*，*sentOff*，“wait for pallets”，*t*）← *occurs*（*sentOff*，*AL*，*t*）∧ *emptyPallets* = 0。

（1.2）*invokes*（“call for pallets”）←*holdsState*（*AL*，“wait for pallets”，*t*）∧ *occurs*（*Arrives*，*AL*，*t*）。

（1.3）*changesTo*（*AL*，*Arrives*，“ready”，*t*）← *holdsState*（*AL*，“wait for pallets”，*t*）∧ *occurs*（*Arrives*，*AL*，*t*）∧ ¬ *emptyPallets* = 0。

…

由规则（1.1）知，如果包装好的货盘被发出后，包装站点已没有空货盘，此时装配线的状态将变为“等待货盘”状态。由规则（1.2），有新产品到达时，如果装配线处于“等待货盘”状态，则需要新货盘。同样，规则（1.3）表示装配线的状态由“等待货盘”变为“就绪”状态。这些规则详细说明了外部事件对“装配线”类的状态转换的影响。

以上是以货盘包装场景的相关内容为案例，其中还可以定义更多的类、事件和规则来丰富该场景。例如，装配线及相关的筛选器、叉车、司机和操作工人都可被并入包装站点这个实体。如此，包装站点可完成产品的筛选、运输货盘和货盘包装。我们定义了复合类的概念来表示这种组合的实体。图 17-6 所示为复合类“包装站点”及其状态转移图。

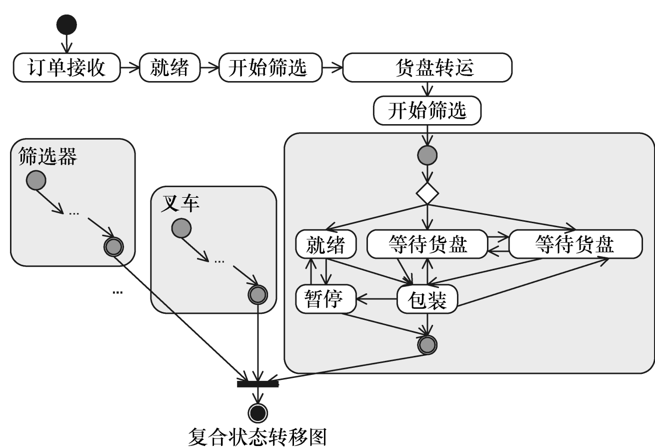



图 17-6　复合类“包装站点”及其状态转移图

这种复合类建立了一个自成体系的单元，该单元隐藏了内部的复杂性，具有较好的可重用性，从而提高 RFID 系统集成的可扩展性。

## 17.5.2　基于事件 – 演算方法的建模

仍以货物包装出货场景为例，我们对子流程“发送货物至适当的包装线”进行了深入研究。图 17-7 所示为 BPMN 图中该子流程的具体内容，包装站点将接收到的产品存放在临时仓库中。一旦有 1 型产品到达包装站点，RFID 阅读器将发出“*g*1*Arr*”事件，并且该事件被任务“添加 1 型产品的数量”捕获。该任务负责清点仓库中的 1 型产品，并在文件中记录产品的数量。同样，任务“添加 2 型产品的数量”表示清点仓库中的 2 型产品数量。带倾斜箭头的虚线代表数据的读/写操作。

“stateCheck”事件是一个周期性事件，它能触发任务“检查库存”。在该任务

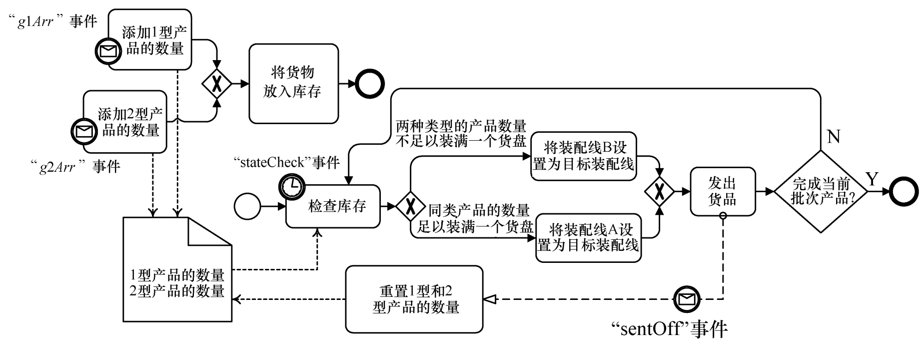


图 17-7　"发送货物至适当的包装线"子流程

中，由调度器检查仓库中接收到的货物的数量和种类并确定这些货物的装配线。其中。装配线 A 只对相同类型且数量足以装满整个货盘的货物进行包装，装配线 B 则负责部分包装和混合包装。

如果在 4 秒钟内没有多余货物到达，则默认已完成对当前批次货物的包装，包装站点将清空库存，等待下一批货物的到达。在这个过程中，RFID 技术主要对传送带与调度器之间传输的货物进行运动追踪，且对每个产品都做了标记。

这种情形属于特殊情况，系统将根据仓库中的事件和货物的状态作出响应。为更好地说明事件和货物状态间的依赖性和相互作用，我们利用基于事件演算方法对该场景进行了建模。

相应的 RFID 场景 $S=(\Gamma, R, EC, \Omega)$ 由 RFID 类的框架 $\Gamma$（包括下面列出的变量）、公理 $EC$ 和 $\Omega$ 以及特定域规则集 $R$ 构成，其中 $R$ 包含了以下事件、变量和规则。

例 2. RFID 场景、相关查询的内容和操作触发器。

事件

*g1Arr*——1 型产品达到调度器。

*g2Arr*——2 型产品达到调度器。

*sentOff*——存放的产品被分派到一条包装线。

*stateCheck*——对调度器的状态检查进行初始化的周期性事件。

变量

*Mixed*——分派的产品为两种类型的产品的混合。

*Full*——库存中有足够数量的产品装满一个货盘。

*Finish*——当前批次产品已包装完毕。

*NotEmpty*——仓库被占用。

*Idle*——调度器已准备就绪，但并没有工作。

规则

（R1）$[num_1++, num_2++] \leftarrow Happens([g1Arr, g2Arr], t)$。

（R2）$Initiates([g1Arr, g2Arr], NotEmpty, t) \leftarrow Happens([g1Arr, g2Arr], t) \wedge \neg HoldsAt(NotEmpty, t)$。

（R3）$Initiates(Mixed, t) \leftarrow Happens([g1Arr, g2Arr], t) \wedge (num_1 \geqslant 0) \wedge (num_2 \geqslant 0) \wedge \neg HoldsAt(Mixed, t)$。

（R4）$Initiates(Full, t) \leftarrow Happens([g1Arr, g2Arr], t) \wedge (num_1 + num_2 = MAX) \wedge \neg HoldsAt(Full, t)$。

（R5）$Terminates(Idle, t) \leftarrow Happens([g1Arr, g2Arr], t) \wedge HoldsAt(Idle, t)$。

（R6）$Terminates([Mixed, Full, NotEmpty], t) \wedge num_1 = 0 \wedge num_2 = 0 \leftarrow Happens(sentOff, t) \wedge HoldsAt([Mixed, Full, NotEmpty], t)$。

（R7）$Initiates(Idle, stateCheck, t) \leftarrow Happens(stateCheck, t) \wedge \neg HoldsAt(Idle, t) \wedge NoSentOff(t-4, t)$。

（R8）$Initiates(Finish, stateCheck, t) \wedge Terminates(Idle, stateCheck, t) \leftarrow Happens(stateCheck, t) \wedge \neg HoldsAt(Finish, t) \wedge HoldsAt(Idle, t) \wedge KeepsIdle(t-4, t)$。

查询

$q_{1t}$：$\leftarrow \Delta(t_0, t) \wedge I_{t0}HoldsAt(Full, t) \wedge \neg HoldsAt(Mixed, t)$。

$q_{2t}$：$\leftarrow \Delta(t_0, t) \wedge I_{t0}HoldsAt(Full, t) \wedge HoldsAt(Mixed, t)$。

$q_{3t}$：$\leftarrow \Delta(t_0, t) \wedge I_{t0}HoldsAt(Idle, t) \wedge \neg HoldsAt(Full, t) \wedge HoldsAt(NotEmpty, t)$。

触发器

Trigger 1：$|q_{1t}| \Rightarrow$调用操作“发送至包装线 A”。

Trigger 2：$|q_{2t}| \vee |q_{3t}| \Rightarrow$调用操作“发送至包装线 B”。

在规则集中，（R1）分别用 $num_1$ 和 $num_2$ 表示到达的 type 1 和 type 2 产品的数量。方括号表示其中所含元素之间的选择关系。如果有产品到达时，（R2～R5）便对变量 *NotEmpty*、*Mixed*、*Full* 和 *Idle* 的值进行调整。一旦“*Sentoff*”事件发生，（R6）将变量 *NotEmpty*、*Mixed*、*Full* 和 *Idle* 的值复位为 false。（R7～R8）处理事件“*stateCheck*”，如果在“*stateCheck*”事件发生前的最后 4 秒钟内没有发生“*sentOff*”事件，（R7）会将调度器的状态调整为“*Idle*”模式；如果调度器在“*stateCheck*”事件发生前的最后 4 秒变为“*Idle*”状态，（R8）将调度器状态变为“*Fin-*

*ish*”状态。*NoSentOff* 和 *KeepsIdle* 的定义如下：

$$NoSentOff(t_1, t_2) = \bigwedge_{t_i \in [t_1, t_2]} \neg Happens(sentOff, t_i)$$

$$KeepsIdle(t_1, t_2) = \bigwedge_{t_i \in [t_1, t_2]} HoldsAt(Idle, t_i)$$

一旦定义了场景 $S$，可将其输入 RFID 边缘系统，即调度器。因此，调度器授权执行货物到达何处及将货物分配到何处进行包装的商业逻辑。

此外，为引导边缘系统对这些事件的响应，我们进行了一些查询和操作触发调度器配置。其中，查询 $q_{1t}$检查 $t$ 时刻是否有足够的相同类型的产品需要进行完整货盘包装；$q_{2t}$检查 $t$ 时刻是否有足够多的不同类型的产品需要进行完整货盘包装；这两种操作触发器通过调用程序可把临时仓库中的产品发送至适当的装配线。这些查询和操作触发器保证了调度器对实时动态的智能反应。

## 17.6　结论

本章提议在 RFID 环境中采用面向对象的业务流程建模方法，并从数据密集型 RFID 事件处理和面向对象建模的特性之间的适用性角度，对采用面向对象的建模方法的合理性进行了分析。通过与传统的以过程为中心的建模方法的对比研究，讨论了面向对象的建模方法的优势。本章介绍了两种建模方法来说明面向对象的思想在 RFID 环境下业务流程建模中的应用。第一种方法侧重从传统的面向控制流的建模方法向面向对象的建模方法的转换，具有以下特点：

1）商业抽象：一个类对一个实体类型的内部细节进行封装，而一个类实例代表了对应实体的运行时状态。

2）行为规范：状态转移图详细说明了对象的行为及其相互作用。

3）类的组合：可以将类组合在一起以对相关实体进行综合装配，从而提高系统的可重用性和重配性。

第二种方法则侧重事件处理和以事件演算为基础的基于事件的业务逻辑建模方法。这些计算逻辑被表示为具有以下特点的命题逻辑语句：

1）用命题变量表示对象的状态和交互状态。

2）业务逻辑代表一种简单事件演算形式，能够很好地表示变量和随触发事件的变化而变化的变量值之间的依赖关系。

3）利用查询优化机制缩短查询时间，并通过缓冲历史事件和变量快照提高了查询的效率。

案例研究展示了这些方法如何应用于模拟实际场景。面向对象的方法利用状态转移图将相关实体抽象成类来模拟场景。通过组合相关的类，可生成一个预配置和自成体系的组件，它也用于其他的业务场景。基于事件演算的方法，通过设置适当

的变量来模拟场景。该方法利用规则而不是状态转移图详细说明了变量值是如何根据场景动态和依赖关系而发生变化的。

# 参 考 文 献

Bai Y, Wang F, Liu P, Zaniolo C, Liu S (2007) RFID data processing with a data stream query language. In: Proceedings of the 23rd international conference on data engineering, Istanbul, Turkey, pp 1184–1193

Bhattacharya K, Gerede CE, Hull R, Liu R, Su J (2007) Towards formal analysis of artifact-centric business process models. In: Proceedings of the 5th international conference on business process management, Brisbane, QLD, Australia,pp 288–304

Bottani E (2008) Reengineering, simulation and data analysis of an RFID system. J Theor Appl Electron Com Res 3(1):12–29

Gu T, Pung HK, Zhang D (2005) A service-oriented middleware for bbuilding context-aware services. J Netw Comput Appl 28(1):1–18

Gyllstrom D, Wu E, Chae H-J, Diao Y, Stahlberg P, Anderson G (2007) SASE: complex event processing over streams. In: Proceedings of the 3rd biennial conference on innovative data systems research, Asilomar, CA, USA, pp 407–411

Hu W, Misra A, Shorey R (2006) CAPS: energy-efficient processing of continuous aggregate queries in sensor networks. In: Proceedings of the 4th annual IEEE international conference on pervasive computing and communications, Pisa, Italy, pp 190–199

Hull R (2008) Artifact-centric business process models: brief survey of research results and challenges. In: Proceedings of the OTM 2008 confederated international conferences, Monterrey, Mexico, pp 1152–1163

Kim S, Moon M, Kim S, Yu S, Yeom K (2007) RFID business aware framework for business process in the EPC network. In: Proceedings of the 5th ACIS international conference on software engineering research, Management and Applications, Busan, Korea, pp 468–475

Küster JM, Ryndina K, Gall H (2007) Generation of business process models for object life cycle compliance. In: Proceedings of the 5th international conference business process management, Brisbane, QLD, Australia, pp 165–181

Liu R, Bhattacharya K, Wu FY (2007) Modeling business contexture and behavior using business artifacts. In: Proceedings of the 19th international conference on advanced information systems engineering, Trondheim, Norway, pp 324–339

Nigam A, Caswell NS (2003) Business artifacts: an approach to operational specification. IBM Syst J 42(3):428–445

Overby C (2008) Forrester research http://www.forrester.com/rb/analyst/christine_overby. Accessed 24 June 2009

Palmer M (2004) Seven principles of effective RFID data management. Technical primer. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.119.5952&rep=rep1&type=pdf. Accessed 24 June 2009

Park J, Hong B, Ban C (2007) A continuous query index for processing queries on RFID data stream. In: Proceedings of the 13th IEEE international conference on embedded and real-time computing systems and applications, Daegu, Korea, pp 138–145

Ranganathan A, Campbell RH (2003) A middleware for context-aware agents in ubiquitous computing environments. In: Proceedings of ACM/IFIP/USENIX international middleware conference, Rio de Janeiro, Brazil, pp 143–161

Scheer WA (1994) Business process engineering. ARIS-navigator for reference models for industrial enterprises, Springer, Berlin

Shanahan M (1999) Book section: the event calculus explained. In artificial intelligence today. Springer, Berlin, pp 409–430

Wahler K, Küster JM (2008) Predicting coupling of object-centric business process implemen-

tations. In: Proceedings of the 6th international conference business process management, Milano, Italy, pp 148–163

Wang F, Liu P (2005) Temporal management of RFID data. In: Proceedings of the 31st international conference on very large data bases, Trondheim, Norway, pp 1128–1139

Wang F, Liu S, Liu P, Bai Y (2006) Bridging physical and virtual worlds: complex event processing for RFID data streams. In: Proceedings of the 10th international conference on extending database technology, Munich, Germany, pp 588–607

Wu E, Diao Y, Rizvi S (2006) High-performance complex event processing over streams. In: Proceedings of the ACM SIGMOD international conference on management of data, Chicago, IL, USA, pp 407–418

Yau SS, Karim F, Wang Y, Wang B, Gupta SKS (2002) Reconfigurable context-sensitive middleware for pervasive computing. IEEE Pervasive Comput 1(3):33–42

Zhao, X., Liu, C., Lin, T. (2009) Incorporating Business Process Management into RFID-enabled Application Systems (accepted on Oct. 18, 2009). Business Process Management Journal.

Zhao, X., Liu, C., Lin, T. (2009) Enhancing Business Process Automation by Integrating RFID Data and Events. In Proceedings of the 17th International Conference on Cooperative Information Systems, Algarve, Portugal. 255-272.

# 第 5 部分　商业与投资

# 第 18 章　法律监管与消费者：RFID 产业的前景

Daniel Ronzani

**摘要**：许多期刊文章从法律监管或客户的角度研究了 RFID 技术的应用和推广，但是本章却持有不同观点。本章研究了该产业的法律监管经验和客户经验。首先对 RFID 产业利益相关者进行了以（UHF）频率法规、数据库法规和隐私安全法规为主题的访谈。其次对世界范围内从事 RFID 技术相关研究、生产、销售和咨询的企业及组织进行网上调查，从而收集产业法律监管经验和客户经验相关的信息。最后评估不同地区和产业的经验数据，在此基础上根据在线调查反馈的关于法律监管和客户的四点意见进行了讨论。鉴于对经验数据的评估，本章主张加强与 RFID 产业的法律监管者的对话，强化法律知识体系并重新评估针对客户的信息政策。

## 18.1　引言

过去几年中，出现了许多有关 RFID 经验数据的学术调查文献，如在美国，研究公民对 RFID 技术的认识。调查显示，即使是受过高等教育的人，他们也认为信息采集技术相比于其他技术更难以理解；欧洲委员会名为《RFID 技术革命——挑战、机遇、威胁》的调查研究表明，当前缺少有效的信息能够对 RFID 技术进行分析；在加拿大，针对消费者购买 RFID 标签产品的意愿进行了评估；在德国，调查消费者对 RFID 信息系统应用于零售业的态度。调查显示，人们有一定的隐私意识，并且这种意识与人们对某种服务的接受程度具有负相关性。

从法律专家或消费者的角度讨论 RFID 技术的有关问题显得有失偏颇。其问题的关键是，在应用和推广 RFID 技术的过程中，法律监管、消费者及产业之间是否保持了平衡，然后必须认真考虑业界的意见。关于 RFID 产业法律监管和消费者对 RFID 的认知，对于建立经济上、法律上和道德上可接受的 RFID 产业是极其重要的。本章主要通过访谈和全球在线调查来评估 RFID 技术产业的前景。研究的目的在于展示以特定法规和消费群体为导向的 RFID 产业的前景，同时揭示了目前该产业的不足。

本研究分为三个阶段。第一阶段是对国际运营企业和组织的 RFID 技术专家进行电话采访。第二阶段将调查提交给从事咨询、系统集成、零售以及 RFID 技术软硬件供给的跨国企业与组织的成员。该调查使用了两批 3680 封的电子邮件邀请函和 1283 张手动完成的网络表格。第三阶段介绍和讨论了 111 位受访者的实验数据。

18.2 节介绍了对 RFID 专家的访谈；18.3 节介绍了调查研究方法；18.4 节展示了问卷中部分问题的调查数据，并且讨论了 8 个调查结果；18.5 节总结了能够加强 RFID 产业应用和推广的三个建议。

## 18.2　行业访谈

本节主要介绍第一阶段的工作。在这一阶段，主要对从事于咨询、系统集成、零售以及 RFID 技术软硬件供给的跨国企业和组织的 RFID 专家进行采访，采访分为 3 次，每次 1 小时。第一个受访者是全球 RFID 系统集成商——A 公司的全球 RFID 服务部门负责人；第二个受访者的是国际零售商——B 公司的通信和公共事务的 RFID 专家；第三个受访者是 C 公司的高级研究人员和网络架构设计师，该公司提出了具有国际领先水平的供应链管理方案。此次访谈所使用的方法论与约翰逊的访谈理论类似。这些访谈是半结构化的，一方面是为了进行深入探索，另一方面是对调查问题进行测试。为保障受访单位和受访者的隐私，作者使用 A、B 和 C 等字母作为匿名代号。

访谈主要讨论两个话题：业界对法律监管的态度（包括无线电频谱法规、数据库法规和隐私权）及 RFID 行业与客户的关系。本章主要讨论无源 UHF RFID 技术。

### 18.2.1　RFID 行业的法律监管经验

本次采访主要讨论了三个领域的法律监管：无线电频谱、数据库管理和隐私保护。首先，来自三家公司的所有受访专家都了解目前的无线电频谱管理法规。他们都希望协调无线电频谱，并强调了后续相关法规的必要性。无线电频谱的不相容问题不仅仅是不同地区 1、2、3 之间存在的问题。例如，在同一地区欧盟成员国（地区 1）内部也存在这个问题，尽管根据 2007 年 5 月底欧盟委员会提出的相关法规，工作于 UHF 的 RFID 终端需采用统一的无线电频段。事实上，许多欧盟成员国已经分配了 RFID 终端的可用频段（865 ~ 868MHz），但这仍然不能排除不同国家之间存在的兼容性问题。某个国家使用的频段不一定适用于另一个国家。无线电频谱法规成为一种抑制剂。

所以［…］尽管欧盟制定了相关规定，仍然有一些国家，如意大利和西班牙，不愿将频谱释放出来，因为这些频段为军方所用。因此，面临的问题是：我们必须获得某个站点的许可证以进行试验。如果要使用 EPC 标签和 UHF 标签进行试验，必须获得许可。事实上这样做会破坏市场，并且妨碍意大利等国家的市场运行。这样将可能出现两种情况：①市场运行不如预期的快；②他们开始找寻其他的替代技术，如高频谱。（A 公司的访谈中作者特别强调）。

事实上，欧盟委员会表示，超过约1/3的受访者并不相信在频谱865～868MHz之间进行协调有助于加快内部市场功能的建立。

其次，受访者认为，近年来关于RFID法规的争论已由无线电频谱分配上转移到隐私问题上。其中，两个受访者对隐私问题的演变方式持批判态度。一方面，企业合伙人认为，几年前，企业平息消费者的担心所使用的方式给如今RFID产业留下了不好的印象。另一方面，从企业的角度来讲，消费者大肆宣传，在技术上无法实现隐私保护：

［…］如今，我们身边的很多东西并非真的涉及隐私，同时，确实存在一些组织借隐私问题进行炒作，我不是说完全不存在问题，只是这种方式确实没有做到真正实事求是。我的意思是如果你在意［…］零售业中存在的问题不是客户有RFID卡，而是客户有会员卡，这张卡已经能够提供关于消费者的所有信息。事实上，没有人关心是否有RFID标签贴在会员卡上。在我看来，这并不是那么重要。（A公司的访谈中作者特别强调）。

B公司的RFID专家引用了RFID反对者技术不可行的观点：

我将消费团体和RFID技术反对者们的意见转述给我的工程伙伴，告诉他们说："这就是他们的观点，是他们用来反对我们的意见。"伙伴们说："这些都是垃圾，这不可能成功，因为它本来就不起作用，你做不到这一点。它在技术上是不可能的，物理上也不可能，你不能这样做。"

另一个合作者的看法也是如此，但是很显然，隐私之争仍然继续，因为监管者更关注消费者组织。这是可以理解的，原因是在几年前法律监管机构、消费者群体以及RFID产业之间的沟通失误导致了彼此的不信任。在早期的RFID技术试验阶段，RFID产业还不能对这些争论发表意见，这是因为：

［…］隐私之争主要是针对使用RFID技术后对社会的影响。试图强调我们能做的事情，我们如今已经做完，于是导致人们必须去面对那些将RFID技术视为是保护隐私威胁的一些组织团体所施加的压力［…］监管机构［…］给了自己两种选择：一个维护施加压力的组织利益；另一个是维护那些仍处于RFID初期实验阶段的企业利益。它们不能评论太多或是只能谈谈最终的发展愿景［…］在一定程度上，这将导致非技术人员和法律监管人员对RFID技术的前景存在不好的印象。于是导致了刚才我们所谈到的［…］实际上，我们谈论的是潜在的威胁，但这些潜在威胁只是监管机构在法规制定过程中感受到的而已，并非是真正的威胁。（B公司的访谈中作者特别强调）。

这些威胁似乎已成为如今的政治议程。有人认为隐私也是一种感恩的政治议程，所有感兴趣的公民都可以参加这场辩论。隐私群体已成功说服人们相信RFID会对隐私权产生持久的负面影响，让人们对RFID技术的应用和推广产生质疑。但这种认知是否是技术可行的，以及是否符合法律规定仍令人怀疑。

隐私是个很有趣的话题，因为很多人都关注个人隐私权。大多关于隐私权的争论对所有人来讲都是直接且易懂的，我也不排除在外，而且没有人可以排除在外。当你真正理解这些恐惧时，你会说："好吧，我是监护人，我会保护你。现在有一种新的技术，有人说它很恐怖，我却不相信，但是我不会让它变得可怕的，我相信这种新技术能够保护你的隐私。"(B 公司的访谈中作者特别强调)。

最后，除了刚才谈到的无线电频谱和隐私安全的法规，受访者提到的第三个法规是数据库法规，但这方面的法规似乎并没有引起该行业的关注。在下一节将详细讨论消费者对数据库的相关认识。

## 18.2.2　RFID 行业的消费者（公众）经验

实际运用中，行业对数据库法规没有太多的认识，即使有也只是在未来的某个时期才会有。这是因为目前无源 UHF RFID 标签的部署主要以集装箱和货盘为主。与人们的日常生活中广泛部署的无源 HF RFID 标签不同，从数据库的角度来讲，无源 HF RFID 标签更加以人为中心。

数据库中的数据并非是面向客户的，它是面向集装箱和货盘及供应链的。但是，当 RFID 应用在整条供应链中时——从制造商到零售商和商店，你将会拥有大量的共享数据。此时你便拥有了多个数据库，但我们目前还没有达到那一步，我们离单一物品级识别的要求还差很多。但至少我们可把监管工作落实到位，而不是舍弃它。(A 公司访谈)。

零售系统中完整规模的单一物品级状态，可能只有在未来 10 ~ 15 年内实现。即需要提高标签的可读性，同时还需要降低标签的成本。

从技术上来讲，现已达到单一物品级的水平。[…] 但是，目前消费者无法接受这些高科技。在市场中，没有对单一物品级标签的需求，这是因为它的价格过于昂贵。[…] 其次，为了使该技术更加可靠，仍然存在待解决的技术问题。这也是单一物品级技术的可靠性较低的原因，同时，单一物品级标签的成本也一直是一个障碍。(C 公司访谈)。

这意味着我们现在还不能进行单一物品级的标记。所以这项技术根本没有真正呈现给消费者。所以，发起这次的讨论是件好事，同时我们需要着手建立框架。但事实是只有极少的物品级试点，我认为这是问题的关键。(A 公司访谈)。

尽管消费者还没有加入 RFID 环（除了部署的试点），业界，特别是零售业，仍要依赖于消费者。隐私问题会影响人们选择某种服务的决定。购物时的情绪反应及不信任与消费者对隐私权的重视程度没有必然的联系，RFID 行业已经认识到，隐私问题是 RFID 推广过程中需要考虑的基本要素。

如果你对消费者决策的反应与零售商们一样，说明你对这个决策很敏感。如果愚蠢地认为我们仅将它看做是技术问题，并说"好吧，我们并不关心这些人，我

们只是这样做而已”。这是行不通的。显然，我们完全赞同谨慎考虑消费者的隐私问题，因为我们是零售商，不是吗？人们只有信任我们才会来我们的商店购物。我们要取得消费者的信任。RFID 的商业案例通常由两部分组成：50% 取决于技术上是否可行、是否能带来效益；50% 取决于消费者。消费者会因为你使用了 RFID 设备便不来商店购物了吗？如果是那样，整个商业形势势必会大大恶化。(B 公司访谈)。

采访中发现，从理论的角度出发，针对零售商自身的经济利益是否真的会让位于消费者对隐私权的担忧这一问题，B 公司以及 Rothensee 和 Spiekerman 的研究观点与 Kelly 和 Erickson 的观点似乎是对立的。竞争力在 RFID 商业案例中扮演了公平的角色，因此，我们认为行业不会因一己私欲而采用 RFID 技术。然而建立信任很难，而且极易动摇；一旦动摇，将难以重建，行业不可能忽略重要客户的意见。

综上可知，业界与消费者对 RFID 的认识存在差异。作为 RFID 的推动者，RFID 业界对 RFID 技术有较深刻的认识，但公众对这项技术没有本质上的认识：调查对象的结论并不可信。在美国图书馆接受调查的公民受教育程度较高，所以相比一般市民对 RFID 技术具有更多的认识和了解。其中，一个受访者就说到这个问题：

[…] 人们未必什么都不懂，他们只是没有深入了解 RFID 技术，不知道它是一项很好的技术，虽然会有威胁，但是他们不知道该技术的发展潜力，意识不到这项技术在现在及未来所具有的价值。(B 公司访谈)。

## 18.3 调查研究方法

本节对第二阶段的研究内容进行概述。在上节访谈的基础上，本节进行调查研究，并讨论有利于调查数据理解的调查设计、调查样本和注意事项。

### 18.3.1 调查设计

RFID 技术的反对者声称使用 RFID 是不道德的行为。尽管存在这种舆论，但 RFID 既不是道德上也不是政治上不适宜进行调查研究的话题。因此，在此次调查中，除了收集 RFID 利益相关者的信息外，还要收集其他人员的一些信息。

作者尽最大努力，在全世界公开使用对参与 RFID 技术或对 RFID 感兴趣的企业和组织名单，包括供应商、执行者、经营者以及未知的用户（从 IDTechEx[㊀] 或 Gartner[㊁] 处可购买名单）。但是从事 RFID 技术的企业或机构人员的情况不明。由于不知确切的人员数量，鉴于这些限制条件，有人建议使用基于互联网的调查方式编

㊀ http://www.idtechex.com/。

㊁ http://www.gartner.com/technology/home.jsp。

制一个子集，来收集从事 RFID 技术的企业或机构人员的数量。这一数量显然不是涵盖全世界所有参与或者对 RFID 技术感兴趣的企业或机构，但它仍然为我们提供了可用信息。众所周知，从事 RFID 技术新兴领域的企业和机构有许多不同的在线数据库。有人认为，这些企业和机构可能使用 EPCglobal 数据库或 RFID 期刊数据库（见 http：//www. rfidjournal. com）中的一个作为标准数据库以获取信息。

本调查包含 6 部分，共含 16 个问题，其中本章对其中的 10 个问题进行介绍。本次调查的所有 RFID 问题都是可添加注释的封闭式问题。大多数评分都采用 5 点 Likert 评定。

### 18. 3. 2　调查样本

EPCglobal 数据库和 RFID 期刊数据库为编制调查人口的子集提供了很好的切入点。EPCglobal 是领先的用户型组织，由行业负责人和支持使用 RFID 电子产品代码的行业标准机构组成。RFID 期刊声称是世界首个独立且具有世界领先的 RFID 新闻和视角的媒体信息源。它们均提供了参与或者对 RFID 感兴趣的企业和机构名单。

在这次调查中，分析单元定义为一个公司或者组织，在公司和组织中挑选一个代表完成调查问卷。本次调查是面向全球的，关于分析单元需要明确两个问题：第一，对于在国内拥有多个单位的国有企业或机构如何处理？对于在一个国家有多个实体或代表的国有企业或机构而言，只有一个实体或代表（最好是总部）在人员调查的范围内。第二，对于跨国企业和机构又如何处理？以跨国企业和机构所属的国家作为调查对象。相同的规则同样适用于这些国家的国有企业和机构。即使它们在本国有多个实体或代表，每个国家的跨国企业和机构仅调查一次。

根据 EPCglobal 和 RFID 期刊数据库提供的信息，罗列出清单，该清单包含了 1321 个从事或对 RFID 感兴趣的企业和机构。作者对其中的 1144 个企业和机构进行了互联网搜索，共搜索到全球 224 个国家和地区的 4963 个联系地址（该数值的大小与企业和机构在全球的组织方式有关）。作者向这 4963 个联系人发出在线邀请，邀请其参加在线调查。其中有 724 封邀请函未成功投递。成功投递的邀请函中共有 185 位进行了在线调查，其中 74 份调查结果是无效的，11 位被邀请人只回答了部分问卷问题，100 位被邀请人完成了问卷调查。

### 18. 3. 3　理解调查数据的注意事项

在多种类型的调查研究中，人们注意到当前的定量分析大多是计算机完成的。因此，此次的 RFID 调查研究也采用这种技术模式。相比邮件或电话调查，网络调查在成本、速度、灵活性等方面更具优势。网络调查的缺点在于，接受调查的受访者必须会使用计算机上网收发邮件。而且，前述列举的网络调查的优势可能在一定

程度上会阻碍其调查，因为使用电子邮件和网络进行调查的成本很低，网络上存在大量类似的研究调查。

#### 18.3.3.1 有效性威胁

第一，在研究过程中必须要考虑存在的有效性威胁：

1）自我选择效应：受访者并不是随机分配到研究兴趣小组的，而是自行分配的。因为某些人可能不愿意参与调查研究。

2）磨损效应：通常也称作死亡率。当有受访者退出调查研究时，研究的成效自然会降低。这其实是另一种形式的自我选择效应。

3）志愿者效应：主动接受调查的人和被动接受调查的人在某些重要方面的表现不同。

4）理解的影响：受访者建立了一套他们能够理解的关于调查问题的真实意义理论，其中包括接受调查时问题的解释、提问的原因以及其可接受的回答是什么。

因此，在调查中，一部分调查是无法追溯的，也可能是受访者拒绝回答的，或者会导致不完整和无用的答案。如果受访者本身是一个随机样本，对整个调查的结果不会造成很大影响，但这是不可能的。

第二，这项调查被发送给所有的受访者，这使得受访者在一定程度上根据自己的偏爱进行答卷。很多受访者自动回复说他们在休假，也有的直接回复说，参与各种形式的调查违反了他们公司的通信政策。我们无法评估调查受访人不予回应或给予回应的原因。

第三，在选定的企业和组织中，接受调查的人员是公开的，受访者对象是专家还是普通职员无关紧要。

第四，东欧和亚太地区的一些网页不提供英文网页翻译，找不到相应的邮件地址。这些公司和机构不在调查对象范围之内。

第五，某些网页不提供类似电子邮件和网页形式的在线联系，这些公司和机构也不在调查对象范围内。

最后，本次调查数据的统计分析是基于两个假设条件的，一是样本不带任何偏见；二是样本分布符合钟形曲线分布。

尽管存在上述可能的误差来源，本章对受访者的调查数据进行的分析仍是一种合理的方法。Schaeffer 和 Presser 强调研究者必须确定他/她利用手头的分析数据和资源将达到的精度级别。

#### 18.3.3.2 非概率和无回应调查

抽样调查的一个关键问题是调查样本的大小。一方面，被调查群体越大越能够保证调查结果的准确性；另一方面，在网络调查中，可能存在其他的适用规则，因为网络调查群体和普通调查人群在可访问性、速度和成本等方面都存在差异。Couper 认为，样本较大的网络调查不一定能够带来较多的有效回应。保守来讲，即使

按照 Couper 制定的标准计算，4.36% 的调查回应率仍是相对不够的（发送和接收到的 4329 封调查邀请函中只有 185 封回复）。显然，调查中存在大量的无回应调查，这将导致这批目标人群的代表性遭到质疑。显然，较高的回应率对结果更有利。

#### 18.3.3.3　调查的置信度及误差

如果 111 位调查对象是一个随机样本，那么该样本的统计分析如下：

样本大小主要依赖于不确定性的容忍度，以及在得出错误结论时人们愿意承担多大的风险。同时，人们需要判断这种错误或风险是否是可接受的。在确定样本大小之前，需要考虑两个相互关联的因素：调查结果需达到的置信度，以及置信区间。典型的置信度一般介于 95% ~99% 之间，采样精度误差通常为 10%、5% 或者 3%。

发出的 4239 封调查邀请函中共收到 185 封回应，其中有 58 位调查者的回复内容是空的，11 位调查者完成了部分调查问卷，100 位调查者完成了整个问卷。

保守的计算方法只包含 100 份完整的问卷回复，而不包含 11 份不完整的问卷回复。但是，如果将 11 份不完整的问卷回复也计算在内的话，误差将变小而不是变大。这样有利于保障调查的精度。因此，对数据的定量分析得出的结果是 9.68%，即 10% 左右的误差和 95% 的置信度。9.68% 是计算的误差上界。

下一节将基于调查设计、调查抽样和在数据理解中应考虑的注意事项来评估调查结果。

## 18.4　调查结果讨论

本节对第三个研究阶段进行概括，主要分成两个部分。为了与 18.2 节的行业访谈结构上保持一致，本节将从 RFID 行业的法律监管（18.4.1 节）和 RFID 行业的消费者角度（18.4.2 节）两个方面进行分析调查。

从以下两个方面讨论了 RFID 产业的法律监管经验（18.4.1 节）：关于法律法规调查结果的讨论（如 18.4.1.1 节中的无线电频谱法规、数据库和隐私法规），以及对法规制定人调查结果的分析和讨论（如 18.4.1.2 节中的立法委员会、律师和法官）。有关 RFID 行业与消费者之间关系的讨论（18.4.2 节）也可分为两部分：对消费者认识程度的调查结果分析（18.4.2.1 节中提到的消费者的知识水平），以及行业信息政策调查结果的讨论（18.4.2.2 节中提到的针对消费者的信息政策）。根据行业的不同，可对以上四个调查结果进行分组讨论（如通信、零售、印刷、物流、信息技术、医疗保健和生命科学、电子、咨询及其他行业），也可按照不同的地理或行政区域（美国、欧盟、经济合作与发展组织以及国际电信联盟地区 1 ~3）进行分组讨论。

以上四个讨论主题都包含两种观察结果：作者的调查结果和调查反馈的结果。同时，每个讨论主题都对这两种调查结果进行了比较。

## 18. 4. 1　行业与法规的关系

### 18. 4. 1. 1　无线电频谱法规、数据库和隐私法规

在 Emerald 互联网数据库中，模糊搜索出了 16 篇在过去几年内发表的有关 RFID 安全隐私的期刊文章。如搜索到 2007 年的文章有 Angeles 2007；Attaran 2007；Butters 2007；Hingley 等 2007；Lee 等 2007；Srivastava 2007。与 RFID 和数据库相关的文章只有一篇，即 Anonymous 2005，但没有任何关于 RFID 和无线电频谱的文章。于是，作者得出第一个观察结果（O1）：从隐私到数据库再到无线电频谱，RFID 产业监控范围呈递减趋势。

对观察结果 1（O1）的讨论是基于图 18-1、图 18-2 和图 18-3 的，这三幅图还同时形成了观察结果 2（O2）。

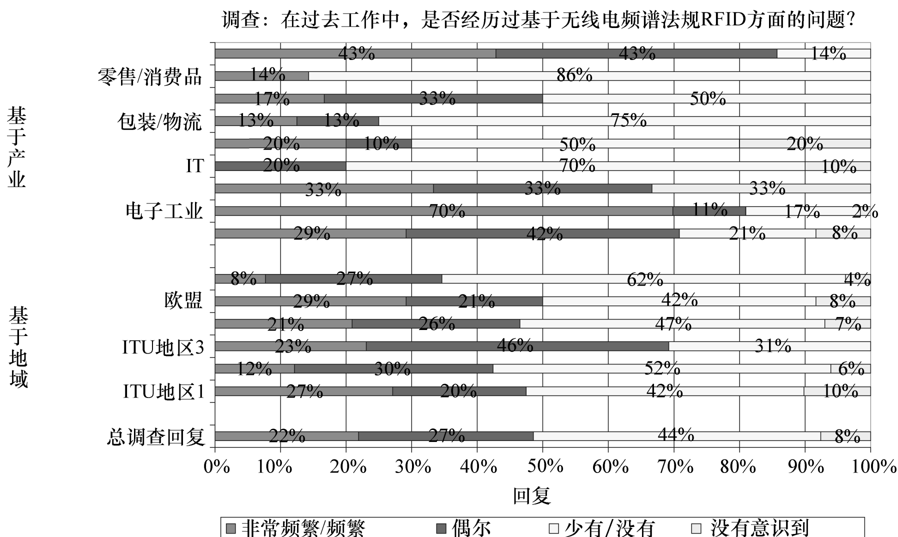



图 18-1　对无线电频谱法规问题的调查结果

频谱法规（见图 18-1）：在全部行业和地区中，对无线电频谱法完全不了解的只占到 8%。其余的受访者了解该法规，其中 44% 的人表示频谱监管是几乎没有问题的，22% 的人认为偶尔存在问题，约超过 20% 的人表示无线电频谱监管经常有问题。

按照地区划分，有 0 ~ 10% 的企业和组织表示不清楚无线电频谱法规。值得注意的是，所有来自国际电信联盟地区 3 的受访者都了解无线电频谱法规，所以他们对该法规存在较多的疑问不足为奇。按照行业划分，各行业对无线电频谱法规的认

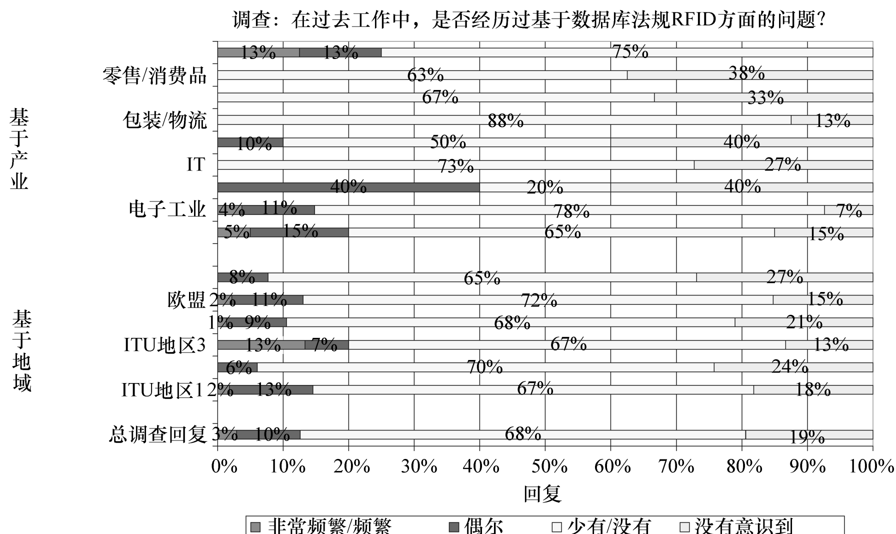



图 18-2　对数据库法规问题的调查结果

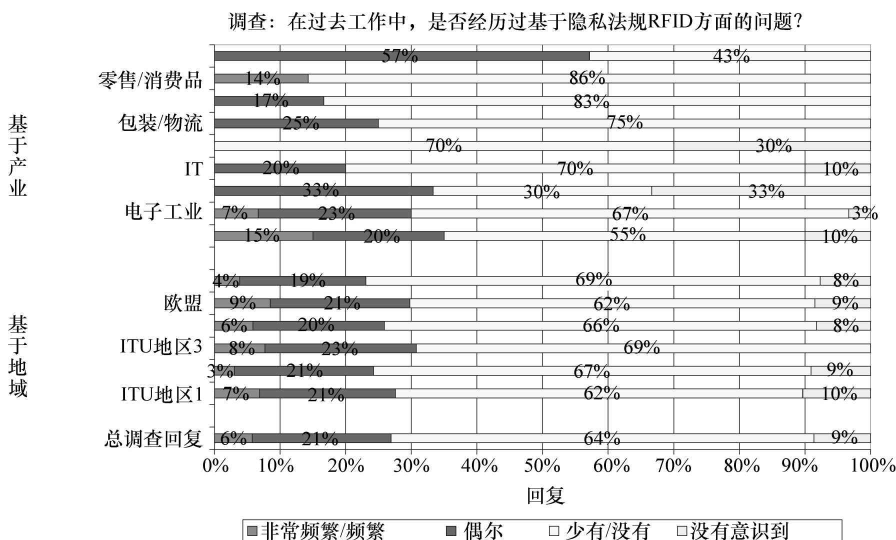



图 18-3　对隐私法规问题的调查结果

识程度各不同。电信和独立软件开发商（ISV），零售业和消费品行业，标签、印刷和造纸行业以及包装和物流行业都对无线电频谱法规有一定认识。IT 行业、医疗保健和生命科学、电子行业、咨询及其他行业则不了解无线电频谱法规的规定。尤其是医疗保健和生命科学行业对这方面的知识较为缺乏了解（约 33%）。

数据库法规（见图 18-2）：与图 18-1 结果相比，所有的地区和行业对数据库

法规知识缺乏了解的程度增加至 19%。68% 的地区和行业表示对数据库法规一知半解，10% 的地区和行业表示偶尔有数据库法规相关的问题，只有小部分的地区和行业经常遇到数据库法规相关的问题。

按照地区划分，13% ~27% 的受访者对数据库法规并不了解。对数据库法规知识缺乏了解的状况渗透到了各个行业，但某些行业尤为突出。只有电信行业和独立软件开发商对数据库法规有较为完整的了解。相比之下，医疗保健与生命科学、零售和消费品行业以及其他行业对数据库法规知识较为缺乏（约 40%）。然而医疗保健和生命科学行业稍微特殊，因为该行业中有 40% 的比例偶尔会面临数据库法规相关问题。

隐私法规（见图 18-3）：在全部地区和行业中，仅有 9% 的受访者表示缺乏隐私法规的了解，64% 的受访者几乎不存在隐私法规方面的疑问，约 20% 的受访者偶尔会有疑问，只有 6% 的受访者表示经常出现隐私法规相关问题。

按地区划分，约 10% 的受访者表示对隐私法规不了解。值得注意的是，国际电信联盟地区 3 的受访者全部对隐私法规有清楚的认识。按照行业划分，电信行业与独立软件开发商、零售与消费品行业、印刷与造纸业以及包装与物流产业都了解隐私法规。值得注意的是，零售和消费品行业非常频繁遇到隐私权问题；根据图 18-3 数据显示，这个结论不易观察到，这是由于以上 3 幅图中，频繁遇到问题及非常频繁遇到问题这两种情形都被归到同一个类别里去了。而图 18-3 中所有电子及咨询行业只是经常遇到隐私相关问题。

比较图 18-1、图 18-2 和图 18-3，可以看出三种法规中数据库法规是最不被人所了解的。而人们对无线电频谱和数据隐私法规的了解程度较高。电信和独立软件商行业最了解这三项法规。事实上，有人认为 20 世纪 90 年代的电信法规提高了电信行业对相关法规的认识。另外，医疗保健和生命科学行业对 RFID 相关法规表现出较高的信任度，人们认为，正是该产业健全的法规增强了人们的信心。

图 18-1 显示了全部地区和行业的受访者遇到无线电频谱法规相关的问题的频率是最高的；从图 18-2 可以看出，全部地区和行业的受访者非常缺乏数据库法规的相关知识；图 18-3 所示为隐私法规最常用的响应模式。基于本章的研究重点，从行业的角度而言，人们希望在期刊文章中看到这些重要的课题。首先，人们希望有更多研究无线电频谱法规的文章，这是由于在应用 RFID 技术时，频谱法规相关的问题是他们遇到的最多问题（图 18-1 中，偶尔遇到、频繁遇到、非常频繁遇到共占了 50%）。而且无线电频谱被认为是物联网的基础，同时也是法规监管机构和各政府机构关注的关键问题。但是，现有的期刊文章并没有涉及这方面的讨论。

其次，与数据库法规相关的文章最少。这是因为大部分的 RFID 产业并没有意识到这项法规，因为此方面的问题极少遇到（见图 18-2）。实际上，在期刊资源中只有一篇关于 RFID 和数据库的文章。

第三，看到部分与隐私法规相关的文章。这是因为，一方面人们对隐私法规的整体认识比较充分；另一方面，约 50% 的受访者表示存在隐私法规的相关疑问。然而，根据 Emerald 网络数据库的搜索发现，隐私法规是最热门的期刊文献主题。

O1 与 O2 不能相匹配：隐私是最热门的研究主题；数据库次之；而仅有一篇微不足道的文章是与无线电频谱相关的。

#### 18.4.1.2　立法者、律师和法官

法律法规的制定与执行过程离不开立法者、律师和法官。首先，一位 RFID 产业的受访者表示，他对那些受群体压力影响的法规制定者的印象较差。其次，RFID 产业调查显示，50% 的企业不雇用 RFID 法律专家解决 RFID 相关的疑问，25% 的企业雇用法律专家，其余的则委托相关的事务所。第三，据作者了解，RFID 产业中没有太多关于无线电频谱法规、数据库法规和隐私法规的诉讼案件。以上导致了第三个观察结果（O3）：从 RFID 产业的角度而言，法规制定者的 RFID 专业知识是不充分的（O3）。

对观察结果 3（O3）的讨论是基于图 18-4、图 18-5 和图 18-6 的，这三幅图还同时形成了观察结果 4（O4）。

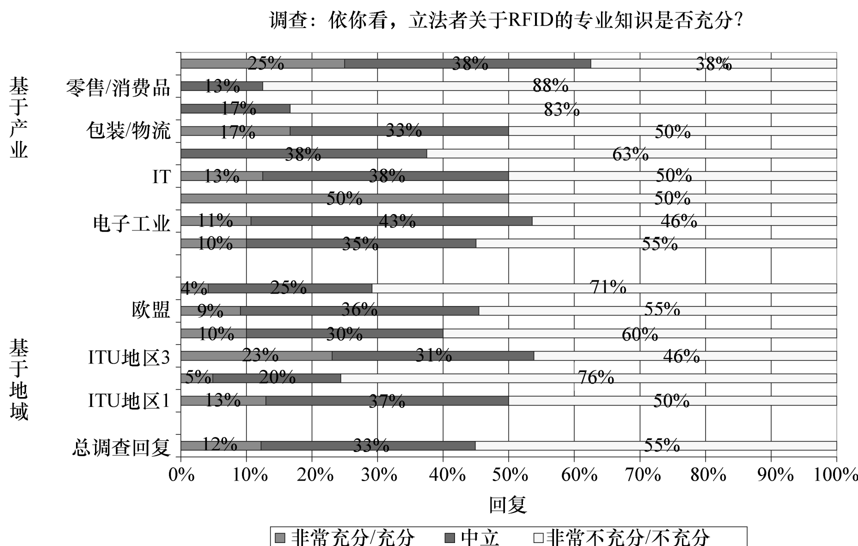



图 18-4　对立法者的 RFID 专业知识的调查

图 18-4、图 18-5 和图 18-6 所示为调查受访者对法规制定者的 RFID 专业知识的掌握程度的反馈信息。结果发现，同一区域的立法者、律师和法官的专业知识掌握程度大致相近。仅有 10% 的受访者认为这些法规制定者的专业知识是充足的；约 30% ~40% 的受访者保持中立态度，其余 50% ~70% 的受访企业和组织认为法规制定者的专业知识不充足或是非常缺乏。其中，有两点值得注意：第一，在受访

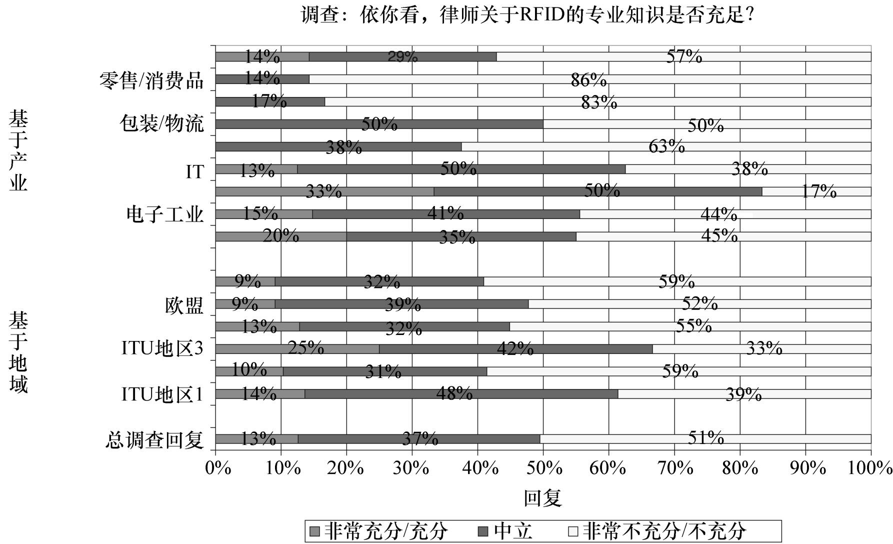



图 18-5　对律师的 RFID 专业知识的调查

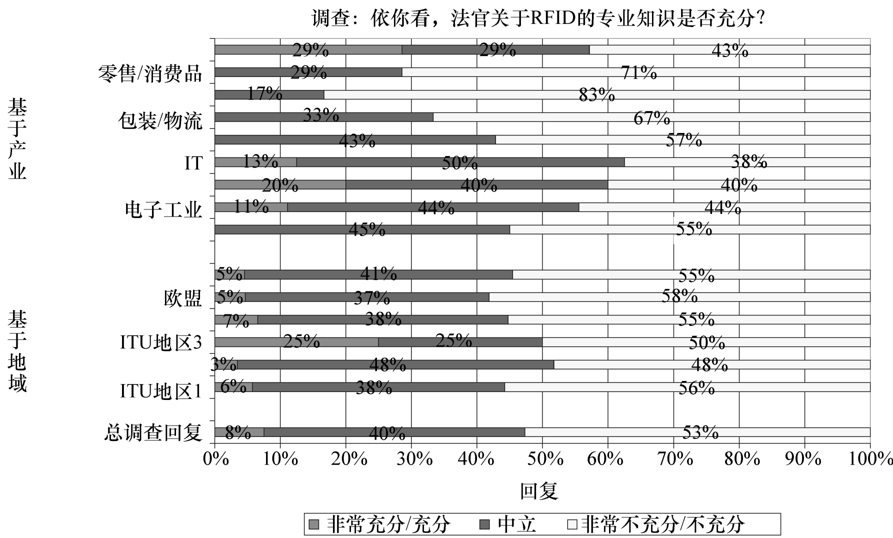



图 18-6　对法官的 RFID 专业知识的调查

者的不良评价中，立法者的专业知识是相对掌握得最充分的（尽管还是比较差）（见图 18-4），其次差一些是律师（见图 18-5），然后最差的是法官（见图 18-6）。第二，国际电信联盟地区 3 的法规制定者的专业知识的掌握程度的较好（约占 25%）。

在各受访企业中，电信和独立软件供应商、IT 产业、医疗保健和生命科学以及电子行业这些行业均表示，相信法规制定者有充分或非常充分的专业知识（见图 18-4、图 18-5 和图 18-6）。零售和消费品、标签与印刷行业以及其他一些行业比较不信任法律监管者，认为他们不能提供充分的法律支持（见图 18-4、图 18-5 和图 18-6）。包装、物流和咨询行业没有给出一致的答案。

对法规制定者的 RFID 专业知识的掌握程度的探讨表明，大部分的 RFID 产业认为 RFID 技术的法律支持并没有合适的法官来具体实施。如果 RFID 技术的诉讼案件很少，那么不难理解受访者将会认为法官的专业知识是不足的或严重缺乏的。然而，更令人担忧的是，立法者和律师同样获得了差评。RFID 产业似乎也没有找到能完全代表自己的立法者和律师。

综合 O3 与 O4 得出结论：受访者并不认为法规制定者能够很好地代表他们的利益；所有不良评价中，对律师的评价是差评里的评价相对较好的，其次是立法者，而获得最差评价的是法官。

## 18.4.2　行业与消费者（大众）的关系

### 18.4.2.1　消费者对 RFID 的认识水平

2006 年欧盟委员会关于 RFID 可能带来的挑战、机遇和潜在威胁进行了网上民意调查。调查结果显示，约 60% 的受访者认为，能够帮助消费者对 RFID 做出明智决策的有用信息不足。在所有的受访者中，65% 的受访者是大众消费者而不是公司或机构单位。按照该民意调查的要求，所有受访者都应对 RFID 技术有一定的了解。但委员会认为公众对 RFID 技术的认识和理解存在差距。如果消费者没有足够的信息做出正确的决策，显然，该消费者不了解 RFID 技术。于是得出观察结果 5（O5）：从 RFID 产业的角度看，消费者（大众）严重缺乏对 RFID 技术的认识。

依据图 18-7 的数据对 O5 进行分析讨论，得出 O6：

总体而言，按照区域统计，仅约 6% 的受访者认为公众对于 RFID 的认知水平较好。约 10% 的参与调查的公司和机构认为公众对 RFID 认知水平较差。大多数受访者（约 65%）认为其认知非常欠缺。其余受访者则保持中立态度（见图 18-7）。

由图 18-7 可知，与来自不同区域受访者的调查评估相比，更多的来自不同行业的受访者，如零售和消费品、标签与印刷行业，其他行业以及医疗保健和生命科学行业，认为公众对 RFID 技术认知较差或非常缺乏，其中，在零售和消费品业的调查中，其比例尤为突出。在医疗保健和生命科学行业，50% 的受访者对公众的 RFID 认知水平持中立态度。

综合 O5 与 O6 可知：在网上调查中，受访者普遍认为消费者对 RFID 技术了解甚少。

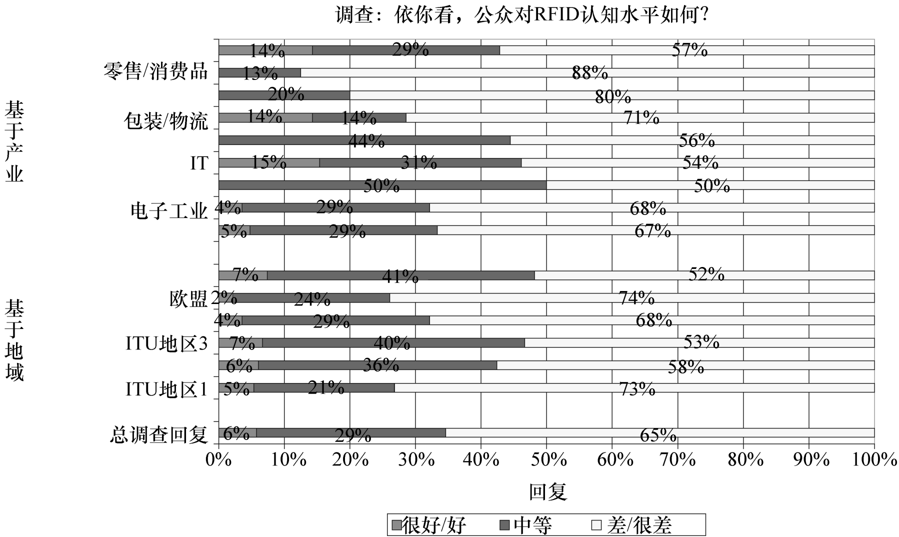



图 18-7　公众对 RFID 认知水平的调查结果

#### 18.4.2.2　面向消费者的 RFID 信息政策

消费者可通过 RFID 产业、RFID 法规制定者和 RFID 消费者组织三种途径学习 RFID 技术知识，那么与消费者沟通失败的原因究竟是什么呢？根据 Rogers 的创新传播理论可以解释不同类型新信息的应用和传播以及相关的通信技术。传播指的是，将新想法从一方传达给另一方或者多方的特殊通信方式。对创新理论的特点进行研究的过程中，潜在的应用方会从事信息的捕获，以便研究使用创新方法后能达到的预期效果。于是得出观察结果 7（O7）：RFID 产业为消费者提供了最好的 RFID 技术信息。

依据图 18-8、图 18-9 和图 18-10 所示的数据对 O7 进行分析讨论，并得出观察结果 8（O8）。

RFID 产业（见图 18-8）：总共约 21% 的受访者认为 RFID 产业的信息政策在公众中的传播效果好或者很好。然而，约 37% 的受访者认为 RFID 产业的信息政策没有在公众中很好地传播。另外约 40% 的受访者保持中立态度。

由图 18-8 可知，按照地区划分，在 ITU 地区 3，一半的受访者认为 RFID 产业关于 RFID 技术信息传播具有良好的效果。而欧洲大陆（欧盟和 ITU 地区 1）的信息政策似乎比其他地区的都要差（分别仅有 13% 和 14% 的受访者认为 RFID 产业对 RFID 技术信息政策进行了很好的传播）。

按照行业划分的调查结果与按照地区划分的调查结果类似，但是，存在一些不同之处。如标签、印刷和造纸行业的受访者们表示 RFID 产业本身没有很好地传播

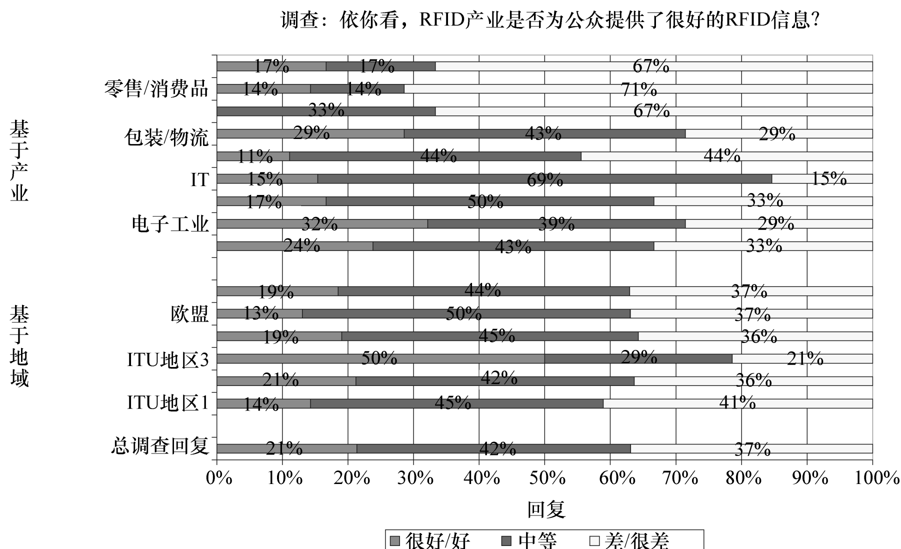



图 18-8　RFID 产业为消费者提供的信息的调查结果

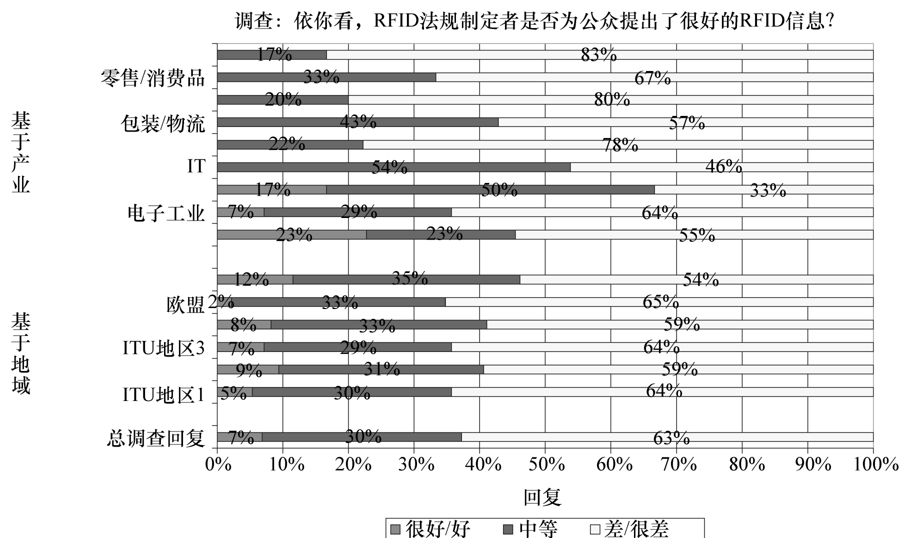



图 18-9　法规制定者为消费者提供的信息的调查结果

信息政策。电信和独立软件开发商、零售和消费品业、印刷和造纸业约 70% 的受访者对 RFID 行业自身的信息传播政策给予较差的评价。另外，标签、印刷和造纸业中的受访者要么保持中立态度，要么给予差评。

法规制定者（见图 18-9）：总体来说，结果显得较差。仅有 7% 的受访者表示

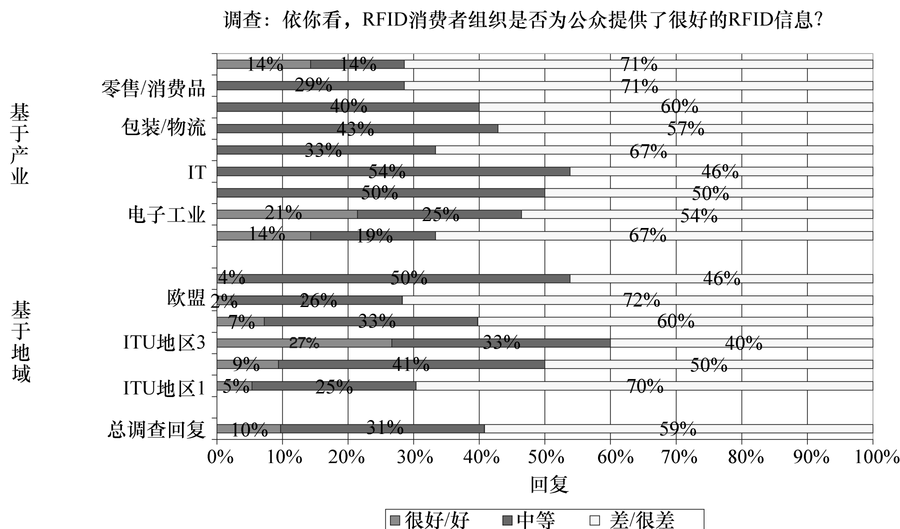



图 18-10　消费者组织提供的信息的调查结果

法规制定者能具有良好的信息政策；63% 的受访者认为他们的信息政策不好，甚至很差；其余的不到 1/3 的受访者保持中立。

不同区域的信息政策评估调查结果显示，在美国，12% 的受访者认为法规制定者能够很好地传播 RFID 信息给消费者；而在欧盟，该比例下降到 2% 。不同行业的反馈数据表明，电信和独立软件开发商、零售和消费品业、标签、印刷和造纸业、包装和物流业、IT 行业及其他行业对法规制定者的 RFID 技术传播作用要么保持中立，要么给予差评。

与 RFID 产业的信息传播结果相比，法规制定者传播的信息政策（不管是从行业还是地区来看）得到较低评价的回复率更高（见图 18-9）。只有医疗保健和生命科学、电子行业以及咨询行业对 RFID 法规制定者的信息政策持良好或非常好态度。

消费者组织（见图 18-10）：与图 18-8、图 18-9 相比，图 18-10 显示的数据结果（不管是从行业还是地区来看）略微分散。与法规制定者制定的信息政策进行直接比较，可看出消费者角度制定的信息政策有微小的改进。10% 的受访者认为消费者可以通过组织很好或者非常好地学习 RFID 技术信息政策；60% 的受访者则持相反的态度；其 30% 的受访者保持中立。

在各地区中，ITU 地区 3 对此的评估相对较好。从行业角度而言，只有电信和独立软件开发商、电子行业以及咨询行业表示，通过 RFID 消费者组织获得的信息政策很好，而其余 6 个行业都没有给出很好的评价。

综合 O7 和 O8 得出结论：受访者表示消费者严重缺乏对 RFID 技术的了解，同时法规制定者提供的信息最差，其次是消费者组织。RFID 产业则认为自己向消费者提供了最好的信息政策。

## 18.5　结论

本章对 RFID 产业与法规制定者和消费者之间的关系进行了深入分析，并对调查得到的 8 个观察结果进行了讨论，得到的结论见表 18-1。

**表 18-1　8 种观察结果总结**

| 观察结果 | 作者的观察结果 1、3、5、7 | 调查观察结果 2、4、6、8 |
|---|---|---|
| 观察结果 1、2 | 从隐私到数据库再到无线电频谱，RFID 产业监控范围呈递减趋势 | 观察结果 2 与 1 不匹配 |
| 观察结果 3、4 | 从 RFID 产业角度出发，关于 RFID 技术的法律监管机构是不够的 | 观察结果 4 与 3 匹配 |
| 观察结果 5、6 | 从 RFID 产业角度出发，消费者（公众）严重缺乏 RFID 技术相关信息 | 观察结果 6 与 5 匹配 |
| 观察结果 7、8 | RFID 产业给消费者提供了最好的 RFID 相关信息 | 观察结果 8 与 7 匹配 |

总的来说，从 RFID 产业角度而言，无论是法规制定者还是消费者，在 RFID 技术的应用和传播过程中，都不具备充足的 RFID 知识，不能实现对 RFID 应用和推广的支撑。作者提出以下三个建议用以支持 RFID 的应用和推广。

首先，RFID 产业应加强与法规制定者之间的沟通。比如，通过增加 RFID 产业与企业组织内、外部法律顾问之间的知识交流，促进 RFID 技术的建设性工作。一般来说，不是每个人都能成为所有领域的专家。此次调查研究已清楚地表明 RFID 产业有很大的改善空间和专业知识交流空间。

其次，RFID 产业应提高对相关法规的认识和应用。比如，加强与法规制定者之间的紧密合作，特别是企业组织内、外部的法律专家。此次研究表明，RFID 产业对某些法规并不了解。

最后，RFID 产业应该重新评估面向公众的信息政策。要么把消费者组织和法规制定者的信息策略做得更好，要么 RFID 产业的信息政策需要做到把 RFID 技术变为自己的优势。

# 参 考 文 献

Anonymous (2005) The pros and cons of RFID: data analysis. Strategic Direction, 21(5):24–26
Albrecht K, McIntyre L (2005) Spychips: how major corporations and government plan to track your every move with RFID. Nelson Current, Nashville, TN
Angeles R (2007) An empirical study of the anticipated consumer response to RFID product item tagging. Ind Manage Data Syst 107(4):461 et seq
Attaran M (2007) RFID: an enabler of supply chain operations. Supply chain management: Int J 12(4):249 et seq
Butters A (2007) RFID systems, standards and privacy within libraries. Electron Libr 25(4):430 et seq
Commission of the European Communities (2006) The RFID revolution: your voice on the challenge, opportunities and threats. Commission of the European Communities, Brussels
Commission of the European Communities (2007) Results of the public online consultation on future radio frequency identification technology policy “The RFID Revolution: Your Voice on the Challenges, Opportunities and Threats”. Commission of the European Communities, Brussels
Couper MP (2000) Web surveys. A review of issues and approaches. Public Opin Q 64:464 et seq
Damanpour F, Wischnevsky JD (2006) Research on innovation in organizations: distinguishing innovation-generating from innovation-adopting organizations. J Eng Technol Manage 23:269 et seq
EPCglobal Inc (2008). http://www.epcglobalinc.org. Accessed last 19 December 2008
European Commission (2006) 2006/804/EC, Commission decision of 23 November 2006 on harmonisation of the radio frequency identification (RFID) devices operating in the ultra high frequency (UHF) band
European Commission (2008) – Information Society and Media Directorate General (2006) From RFID to the internet of things – pervasive networked systems. Office for Publications of the European Commission. Luxembourg
Greenhalgh T et al (2004) Diffusion of innovations in service organizations: systematic review and recommendations. Milbank Q 82(4):581 et seq
Heckman J (1979) Sample Selection Bias as a Specification Error. Econometrica 47(1):153–61
Hingley M, Taylor S, Ellis C (2007) Radio frequency identification tagging: supplier attitudes to implementation in the grocery retail sector. Int J Retail Distrib Manage 35(10):803 et seq
ITU (2005) Radio regulations. http://www.itu.int/publ/R-REG-RR/en. Accessed 24 June 2009
Johnson JM (2001) In-depth interviewing. In: Gubrium JF, Holstein JA (ed) Handbook or interview research – context and method. Sage, London
Juban RL, Wyld DC (2004) Would you like chips with that?: consumer perspectives of RFID. Manage Res News 27(11/12):29 et seq
Kelly EP, Erickson GS (2005) RFID tags: commercial applications v. privacy rights. Ind Manage Data Syst 105(6):703 et seq
Kim C, Galliers RD (2004) Toward a diffusion model for internet systems. Internet Res 14(2):155 et seq
Lee SM, Park S, Yoon SN, Yeon S (2007) RFID Based ubiquitous commerce and consumer trust. Ind Manage Data Syst 107(5):605 et seq
Nardi PM (2003) Doing survey research – a guide to quantitative methods. Pearson Education, Boston, MA
Nutley S, Davies HTO (2000) Making a reality of evidence-based practice: some lessons from the diffusion of innovations. Public Money Manage 20(4):35 et seq
Rea LM, Parker RA (2005) Designing and conducting survey research – a comprehensive guide, 3rd edn. Jossey-Bass, San Fransisco, CA
Rogers EM (2003) Diffusion of innovation, 5th edn. Free Press, New York, NY
Rothensee M, Spiekerman S (2008) Between extreme rejection and cautious acceptance –

consumers' reactions to RFID-based IS in retail. Soc Sci Comput Rev 26(1):75 et seq
Sapsford R (2007) Survey research, 2nd edn. Sage, London
Schaeffer NC, Presser S (2003) The science of asking questions. Annual Review of Sociology, 29:65–88.
Shank G, Cunningham DJ (1996) Modeling the six modes of peircean abduction for educational purposes. In: Annual meeting of the Midwest AI and cognitive science conference, MAICS 1996 Proceedings, Cincinnati, OH
Srivastava L (2007) Radio frequency identification: ubiquity for humanity. Info 9(1):4 et seq
Strickland LS, Hunt LE (2005) Technology, security, and individual privacy: new tools, new threats, and new public perceptions. J Am Soc Inf Sci Technol 56(3):221 et seq
Swanson EB, Ramiller NC (2004) Innovating mindfully with information technology. MIS Q 28(4):553 et seq
Vogt WP (2007) Quantitative Research Methods for Professionals in Education and Other Fields, Pearson Education, Boston
Wolfe RA (1994) Organizational innovation: review, critique and suggested research directions. J Manage Stud 31(3):405 et seq
Xiao Y, Yu S, Wu K et al (2007) Radio frequency identification: technologies, applications, and research issues. Wireless Commun Mobile Comput 7(4):457 et seq
Yin RK (2003) Case study research, 3rd edn. Sage, Thousand Oaks, CA

# 第 19 章　RFID 技术应用的投资评估：发展前景

Andriana Dimakopoulou，Katerina Pramatari，Angeliki Karagiannaki，
George Papadopoulos，Antonis Paraskevopoulos

**摘要**：先前的 RFID 技术评估研究是把各种 RFID 技术的发展和应用分开进行评估，彼此之间相互独立。然而，信息技术的投资评估方面的文献，已经认可并使用了评估“相互依存”并且协调运作的信息系统（IS）项目的重要性。此外，以往的研究在估计 RFID 投资的商业价值时，忽略了 RFID 技术的后续投资。这一重要的理念已被其他信息技术评估的文献所认同。本章提出了一种综合考虑 RFID 应用投资评估的方法，该方法认为各种应用投资是相互依存、有次序的投资，而不是各自独立的投资。最后，通过案例研究的结果证实了该方法对评估 RFID 项目和提高业务效益的作用，同时为 RFID 投资评估提出了新的见解。

## 19.1　引言

RFID 是通过射频信号自动识别带有识别标签对象的技术的统称。这项技术极大地增强了系统获取大量数据的能力，这些数据可以是通过标记和无线扫描获得的任意实体的位置移动信息和各项属性数据。RFID 可应用在供应链管理、防盗系统、财产追踪、空运行李服务、电子计费和设施管理（如图书馆管理）等领域。该技术也被广泛用于零售业。在这一领域中，RFID 的应用范围覆盖了仓库和销售管理、零售出口管理（包括货架管理、促销管理和新型的消费服务）以及整个供应链，比如产品跟踪。

早期研究对 RFID 应用的商业价值进行估计的时候，把各项应用视为独立的应用来看待。然而，这些应用是协同存在的，因为它们共享同一个公共基础设施。依据相关文献，在进行技术投资评估时，利用它们之间的协同作用可实现珍贵资源的共享、总开支降低和效益增加。然而，以往的实验研究忽略了这种协同作用在 RFID 的投资评估中的作用。

除此以外，在评估单个 RFID 应用时，早前研究忽略了该应用对未来后续投资的作用。相反的是，IT 评估的相关文献已确认了这一观点的重要性。正如 Curtin 和 Kauffman 所说，研究 RFID 技术的机遇已经到来：“研究人员可以验证这样的观点：基础技术可能不是产生商业价值的主要动力，而是创造后续投资的实物期权。”

利用上述思想，本章提出了一种 RFID 投资评估方法。该方法认为，RFID 应

用不是独立的应用，而是相互依存的协同系统，并且这种协同作用能够带来后续投资。案例研究的结果证实了该方法如何在评估 RFID 项目和提高商业效益中起相应的作用，同时为 RFID 投资评估提出了新的见解。

本章结构安排如下。19.2 节简单回顾了 RFID 技术和其相关的价值，随后介绍了信息系统的协同作用概念和其进化方式，以证明它们在 RFID 应用评估中的应用效果；同时讨论了现有文献的缺陷与本章的目的。19.3 节提出了一种 RFID 投资评估方法。19.4 节将该方法用于案例研究。最后总结了本章的主要内容，并给出了本次研究的限制因素和未来的研究途径。

## 19.2　研究背景

### 19.2.1　RFID 技术的业务评估

基于公共基础设施的 RFID 技术应用可同时工作，并支持各种各样不同的业务目标和业务进程。这也是区分 RFID 技术和其他信息技术的特征之一。RFID 技术的另一显著特征是需要引入“标签”。虽然某种类型的单位标签成本是固定的，但它会根据应用类型、被标记物体的数量和标记级别（单个商品/集装箱/货盘）等参数而发生变化。例如，某企业在某个 RFID 项目中，第一年对上百万产品进行了 RFID 标记，而在后续投资中，该企业只需标注新增加的产品。因此，标签的总成本随着该企业对 RFID 的投资每年都在变化。

如同所有的新技术，如 RFID，项目和研究可以评估其潜力。尽管人们相信 RFID 能够带来各种商业利益，但最初使用 RFID 的部分人则认为，对 RFID 的投资最终将无法得到回报。现有的研究主要评估了 RFID 技术在面向供应商和面向客户等领域中的投资回报价值。

大部分 RFID 评估的实证研究都围绕第一类应用，该类应用主要是处理后台运作，如库存和仓库管理。特别地，基于数学或仿真模型等工具的研究评估了 RFID 技术对库存管理，特别是对库存补货、库存错误、产品错位和产品缩减等方面的影响。此外，基于财务、仿真和混合方法的研究评估了 RFID 技术对仓库和物流管理的影响，如运输、接收订单和储存业务的作用，并得出以下结论：RFID 技术可节约人力、物资和运输的成本。

除了以上 RFID 处理后台业务的研究外，仅有少量工作研究了 RFID 技术对面向客户的业务（如客户服务）的影响。

### 19.2.2　评估 RFID 的信息系统依赖度应用

大多数实验研究对单个 RFID 应用进行评估，如库存补货、订单接收，但忽视

了“相互依赖性”对各种 RFID 应用评定和它们之间可能的合作机会。当某些具体应用具有某个相同的特定功能时，协同作用便会起作用。

“一般系统理论”和一些文献认为，信息系统与其他类型的项目很少独立工作，对它们的评估和选择都是围绕系统之间的互相协同进行的。根据相关文献，主要的依赖关系或协同类型分为

1）“资源和成本”，当信息系统和其他项目共享资源和成本。

2）当信息系统与其他相关项目的共同实施带来总体组织利益增加时，主要是“利益或价值的相关性”的协同。

3）当一个项目的发展需要另一个相关项目发展的支撑时，主要是“技术”或“后续的协同作用”。

换言之，依存关系的项目是具有相同特点的相互关联的项目。

上述概念可用于 RFID 项目。基于相同公共基础设施的 RFID 技术通过公共接口将具有不同功能的各种相互关联的关键系统汇聚在一起。

RFID 项目间协同作用的探索对企业组织具有重要的价值。通过评估和选择协同项目，有价值的资源能够得到共享。与独立进行评估和实施的系统相比，协同能够很大程度上减少资源的总支出，同时还可以获取更多的利益。可见 RFID 协同项目的投资评估比孤立项目评估更加合理。1998 年，Pannyi 和 Trigeorgis 认为，由于把这些投资看成是孤立的，所以，传统的评估方法通常并没有将投资的灵活性考虑在内。然而，项目投资能够被认为是相关投资机会的捆绑，投资项目之间的关联性也是考虑后续投资项目的先决条件。

### 19.2.3 用于评估 RFID 的信息系统进化的应用

19.2.1 节评估单个 RFID 应用时提及到另一个被忽略的问题就是单个 RFID 应用评估的进化问题。也就是说，一项应用的投资可以导致另一项关联应用的后续投资。这也符合 19.2.2 节中协同的理念，一个项目需依赖于其他项目的执行。

根据这一点，RFID 技术发展经过了以技术成熟度、商业转型需求程度、商业利益种类和商业目标为要素的几个阶段。由技术导致的期权扩展也视为一种发展。例如，1998 年，Taudes 研究了关于软件的期权增长，能够扩展更多的信息系统功能。

2007 年，Lee 已经将信息系统成长的这一理念运用于供应链管理的 RFID 应用中。Lee 指出的如库存审计和结算一类的 RFID 应用是替换工作的一部分——在替换条形码阶段中，这些应用在接下来的量化发展阶段，可以扩展到包括产品源跟踪在内的供应链中的多个节点。最终将发展成为“结构化”规模，包括诸如升级管理和逆向物流等应用，可以产生更高的商业价值、新业务和新进程。

RFID 技术可以服务于多种应用，因此信息系统的应用和 RFID 的应用扩展在

RFID 投资评估上具有重要意义。RFID 技术最初支持库存业务，而最终以客户服务作为后续投资目标，致使在评估初步的投资时不得不考虑第二阶段的后续投资，否则会低估初始项目投资的价值。1991 年，Dos Santos 指出 RFID 技术工程的价值是工程第一阶段和第二阶段的价值的总和。由于 RFID 应用数目的增长，产生了多种 RFID 应用的组合，RFID 的“发展路径”包括初始项目和后续项目，这些都应该综合评估而非孤立的评估。因此产生了对 RFID 技术发展和部署进行评估的研究，如 Curtin 和 Kauffman 所说：“研究员测试检验基础技术的重要之处可能不是产生商业价值的主要源动力，而是提供了选择后续投资的实实在在的期权。”

以上涉及从最初到未来投资过程中的技术增长问题，以及这些投资之间的相互依存关系（见表 19-1），这两点并没有包含在以往 RFID 投资评估的实证研究中。本章提出了对上述 RFID 评估理念的应用。基于以上目标，本研究旨在解决以下问题：

1）在协作评估和投资实施的各阶段，RFID 应用应该考虑些什么因素，以及通过何种方式进行？

2）与孤立 RFID 应用相比，投资多个互相依赖的 RFID 应用，其商业价值是什么？

**表 19-1　IS 的互相依赖和进化的概念**

| 概念 | 定义 | 业务目标 | 相关文献 | RFID 评估的应用 |
|---|---|---|---|---|
| IS 的互相依赖/协同作用 | “资源/成本协同效应：IS 或者其他类型的项目共享资源或者成本；<br>“利益/价值协同效应”：如果相关项目共同实现，总的组织收益便会增加；<br>“技术”或“后续协同效应”：某个项目的开发与另一个项目的发展相关； | 总资源支出减少；获得更多利益 | Iniestra and Gutierrez (2009)；Lee and Kim (2000)；Santhanam and Kyparisis (1996)；Verma and Sinha (2002)；Liesio et al. (2008)，“General Systems Theory”：von Bertalanffy (1969)；Yourdon (1989) | RFID，基于共同的基础设施，将导致形成具有协同效应的系统（Curtin and Kauffman，2007） |
| IS 的进化/增长期权 | 技术发展通过几个阶段；<br>基础设施技术为后续额外投资创造了实物期权 | 避免对初始投资的低估 | Nolan (1973)；Venkatraman (1990)，Taudes (1998)；Lee H (2007)；Curtin and Kauffman (2007) | RFID 进化（Lee H. 2007）；开发后续投资的选择（Curtin and Kauffman2007） |

## 19.3 RFID 投资评估的进化方法

在 RFID 技术中，为了解决上述有关投资评估的问题，本节提出了一个解决办法，包括以下两个阶段：

1）在 RFID 应用中（“RFID 进化路径”），连续投资和协作组合的识别。

2）“RFID 进化路径”的财务评估。

### 19.3.1 “RFID 进化路径”

构造 RFID 应用协同组的目的是将不同种类的应用组合在一起，利用它们之间的协同效应实现商业盈利。在组中构建序列是为了帮助公司识别 RFID 应用，这些应用可以视为是其他 RFID 应用的先决条件或初始投资。

为识别应用组合，首先应形成一份能在企业组织中实现 RFID 应用的候选名单。针对此目标，要对现有企业组织的基本业务流程进行分析和建模，以确定是否存在低效率现象以及改善的机会。在确定低效率现象的基础上，形成企业组织的基本目标和需求。正如文献中提及的众多应用一样，需要建立一个 RFID 应用的候选名单列表。这份候选名单能涵盖企业组织的整条供应链，包括物流、销售、运营和服务。根据应用目标、支持的业务流程和面对应用用户的不同，对这些应用进行区分。

名单上的 RFID 基于 Porter 的业务活动类别进行划分。支持相同业务流程的应用应该被划分到一起，并利用“持续的或技术方面的协同”来确定和定位初始应用，这些初始应用的实现也是同组内的其他应用实现的必要前提。在这种方式下，可以构建包括初始和后续 RFID 协同应用的应用组，此即为“RFID 进化路径”。

### 19.3.2 “RFID 进化路径”的财务评估

此次评估的目的是，对比 RFID 应用组和单个 RFID 应用所产生的商业价值。对比的结果证明，该方法更有利于 RFID 投资。

首先，同组中 RFID 应用的实现费用划分为独立运用部分和组内共享应用部分（协作资源或协作成本）。成本类别包括硬件成本、应用软件成本（RFID 设备，如阅读器、天线、服务器、PC、专门软件、兼容系统、安装费用、软件商业许可证）和运营成本（标签成本、设备维护与更新、软件维护与更新、培训）。成本的量化是基于市场价格和相关资料的。

文献所提的货币收益类别，如运营成本的降低，可评估引进 RFID 技术所获得的效益。早期评估可以基于技术的预期影响，评估技术在目前业务流程的可以量化的表现。例如，这些量化表现的度量是，评估 RFID 解决方案完成一个特定流程所

能缩短的时间，该时间则为 RFID 解决方案的收益。

在试验组中分别估计每个应用的成本和收益（利用“收益或价值的协同效应”）之后，将得到成本效益分析（CBA）。成本效益针对试验应用组增加的总价值进行分析。在这个过程中，将会对比应用组的总价值和组中单个应用独立评估得到的总价值。图 19-1 描述了该评估方法的各项步骤。

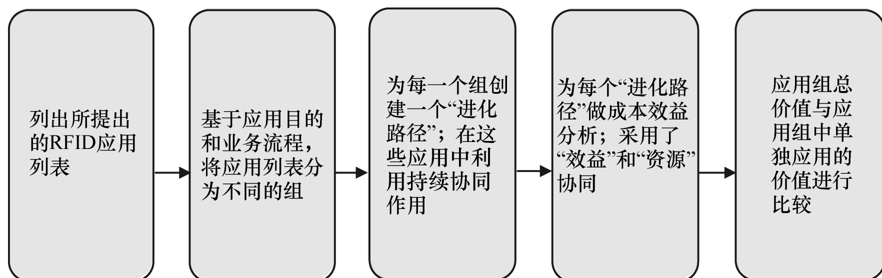



图 19-1　RFID 投资评估进化方法

## 19.4　在零售业中的应用

将上述的评估方法应用到了电信服务和产品的零售企业。该企业致力于改善客户服务质量，并将 RFID 技术视为实现这一目标的新技术，为了证明 RFID 应用投资的有效性，企业需要了解应用种类和目标以及预估它们的价值。

### 19.4.1　RFID 应用组进化路径的识别

对企业零售商店的经理和雇员进行采访、观察、业务流程建模都可作为分析当前企业销售、服务、仓库运作等业务流程的工具。先前，低效率主要体现在重复工作、库存中所需文档和产品的放置上出现错误和延误、缺乏进库产品和售出产品的信息、客户延期、销售服务中不够完善的产品信息和促销信息等。

基于这些缺陷，该企业的目的是改进客户服务质量和文献中提及的 RFID 应用的种类，以及特定企业中 RFID 应用的候选名单（见表 19-2）。利用 Porter 归类方法将企业的主要业务活动分为物流、销售、经营和售后服务，这也是列表中 RFID 应用间协同的一种表现形式，可以据此将这些应用划分为应用组。

为了确保分组的应用能够满足其他应用运营的需要，还必须基于“后续或技术协调”对分组的 RFID 应用进行排序。可以利用 Delphi 方法从 IT 和业务专家那里收集相关信息，从而可以达到排序的目的。

一个应用划分的例子是与库存的处理相关的应用。为了实现“库存补充”的正常运作，以及通知库存已经达标，要求“库存审计”应用实时监测库存值。同样为了实现“库存审计”的正常运作，也需要“订单接收”和“结账”应用。总体而言，在有产品流入或流出仓库时，这些应用都会自动更新库存值，这对准确审查库存量起到很重要的作用。对这些应用分组和排序，产生了库存的进化路径（如图 19-2 所示）。根据这一“进化路径”，企业可以对 RFID 进行初始投资，以保障“订单接收”业务，然后再投资其他相关应用（如审核库存补充应用）。这些后续应用以“订单接收”应用的潜力为基础，由初始投资产生。

**表 19-2　RFID 应用列表**

| 分类 | RFID 应用 | 参考文献 | 描　述 |
|---|---|---|---|
| 物流 | 订单接收 | Bottani and Rizzi (2008)；Karagiannaki et al. (2007) | 订购的产品进入仓库时，由安放在仓库门口的阅读器自动识别，并更新库存数量 |
| | 物流审计/计数 | Fleisch and Tellkamp (2005)；Rekik et al. (2008) | 存储在库存的产品被自动识别，并实时计数 |
| | 库存补充 | Wang et al. (2008)；Kok et al. (2008) | 系统向仓库管理员发出警报，告知库存达到警戒线，需要补货 |
| 销售 | 结账 | Moon and Ngai (2008)；Uhrich et al. (2008) | 在销售柜台自动识别产品并更新库存数量 |
| | 面向消费者的产品信息 | Roussos et al. (2002)；Moon and Ngai (2008) | 消费者通过信息终端获得产品相关的信息，并在购物车的显示屏上显示 |
| | 面向消费者的产品和促销信息 | Uhrich et al. (2008)；Jones et al. (2004) | 消费者通过信息终端获得产品和促销的相关信息，并在购物车的显示屏上显示 |
| | 面向消费者的个性化产品和促销信息 | Roussos et al. (2002)；Ngai et al. (2008)；Moon and Ngai (2008) | 消费者通过信息终端获得产品和促销相关的个性化信息，并在购物车的显示屏上显示 |
| 运营 | 防盗 | Jones et al. (2005)；Moon and Ngai (2008) | 对离开商店的产品进行识别，对被盗产品发出警报 |
| 售后服务 | 自动化服务 | Lee et al. (2008)；Tzeng et al. (2008) | 自动识别产品为客户带来的服务 |
| | 服务的可追溯性 | Lee et al. (2008)；Tzeng et al. (2008) | 发送给服务公司的产品，在其传输过程中，可被跟踪和追踪 |

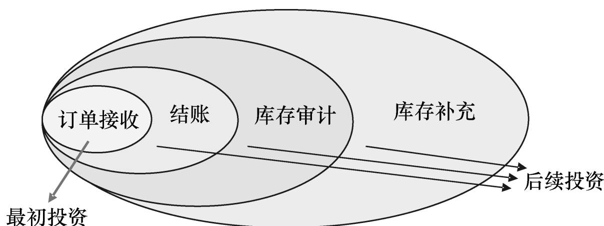



图 19-2　库存管理应用的“RFID 进化路径”

如图 19-3 所示，利用相同过程可以产生其他“RFID 进化路径”，该进化路径包括销售和促销管理等不同业务流程中的初始和关联应用。需要注意的是，企业组织对 RFID 应用的初始投资时，需要在商店周围安装 RFID 信息终端。这些终端可以告知购物者相关的产品信息，或者在显示屏上显示产品促销信息。当消费者携带贴有标签的产品经过信息终端时，显示屏上就会显示产品信息和相关促销信息。另外，产品信息也可以由位于购物车内的显示屏显示，这需要在购物车内安装 RFID 阅读器，以便检测购物车内贴有标签的产品。

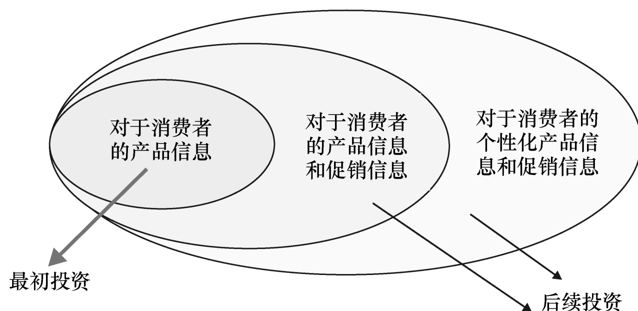



图 19-3　销售和推广管理应用的“RFID 进化路径”

进一步，企业也可以投资后续相关的 RFID 应用，例如，公司在最初 RFID 基础设施上添加额外功能，以支持个性化的优惠及促销活动。正如 Ngai 等提到的，消费者可以使用与系统数据库（如 CRM）联网的 RFID 购物车，使用购物卡便可以从购物车内的显示屏上获得产品相关的个性化建议。购物车中的天线可以检测到产品的放入或拿出，同时，联网的应用系统可以在显示屏上提供其他相关品牌的信息。Marks 和 Spencer 商场、Prada 中心商场、Gap、Benetton 和 DHL 时尚都是应用 RFID 技术的零售领域中的案例，这些应用都是基于最初 RFID 应用的，因此可以视为后续投资。

与投资单个应用相比，一旦对通用的 RFID 应用的基础设施，以及相关应用进行投资时，将获得更多的收益，同时能够降低整体的成本。预期效果可通过接下来介绍的财务评估获得。

## 19.4.2　财务评估

本节主要是对试点企业中两个应用的投资进行财务评估，两个应用是来源于库存“RFID 进化路径”所包含的“订单接收”和“结账”。被选择的原因是根据数据的可用性、评估的可行性，以及该技术在零售业的影响。最终目标是在比较两项应用独立评估时的评估结果，以及综合两项应用联合评估时的评估结果，以便确定是否能够通过利用相关应用之间的协同来提高经济效益。

折扣现金流的财务方法，即当前净资产值将作为资产估计方法，这样做是因为企业关心的是投资的经济效益和现金效益。对两项应用的总净资产值进行估计，然后，与各应用独立评估的净资产值总额进行比较。此处考虑基于成本利益分析的年现金流量来进行计算，并为 153 家零售店评估 RFID 的价值。

### 19.4.2.1　RFID 实施成本的量化

利用市场价格和 IT 专家指导下的 Delphi 方法来量化两项应用的 RFID 投资成本，包括资本成本（见表 19-3）和运营费用（见表 19-4）。

资本成本估算：资本成本包括 RFID 设备成本、安装成本和软件成本。根据“资源和成本相互协同”的思想，资本估算可以分为两个部分，一是两项应用的公共成本，另一个是各应用独立实施的独立成本。表 19-3 包含资本成本的具体划分细节，是对两项应用协作价值和单个应用独立评估价值进行对比分析的必要准备。

运营费用估算：运营支出包括以下两类：

1）RFID 标签成本，包括标签的处理成本和训练成本，无论是哪种应用类型，这两种成本都是相同的。

2）硬件维护成本，软件升级成本，这些成本的计算对于独立的应用是分开进行的，而对合作实施的应用组则计算总成本。

表 19-4 描述了上述两项的运营成本。

**表 19-3　基于“资源和成本相互协同”思想，将每项应用的资本成本分为公共成本和独立成本**　（单位：€）

| 资本成本 | 公共成本 | 应用 1 成本 | 应用 2 成本 | 总成本（应用 1 + 应用 2） |
|---|---|---|---|---|
| RFID 设备（商店类型 1） | 145000 | 46400 | 69600 | 261000 |
| RFID 设备（商店类型 2） | 237500 | 76000 | 76000 | 389500 |
| 中央仓库设备 | 13800 | | | 13800 |
| 安装成本 | 77800 | | | 77800 |

（续）

| 资本成本 | 公共成本 | 应用 1 成本 | 应用 2 成本 | 总成本（应用 1 + 应用 2） |
|---|---|---|---|---|
| 服务成本 | 1500 | | | 1500 |
| 中央基础设施成本 | 50000 | | | 50000 |
| S/W 商业许可证 | 61200 | | | 61200 |
| 每个应用的 S/W 制定 | | 64000 | 40000 | 104000 |
| ERP 系统调试成本 | | 18000 | 16000 | 34000 |
| 总成本 | 586800 | 204400 | 201600 | 992800 |

注：资本成本估算的假设和计算详见附录。

**表 19-4 RFID 应用的运营成本估算** （单位：€）

| 对于 2 个应用的运营成本（OPEX） | 第 1 年 | 第 2 年 | 第 3 年 | 第 4 年 | 第 5 年 |
|---|---|---|---|---|---|
| RFID 标签成本 | 144000 | 129600 | 116640 | 104976 | 94478 |
| 设备维修 | — | 85896 | 85896 | 85896 | 85896 |
| SW 升级和维修 | — | 12480 | 12480 | 12480 | 12480 |
| 训练 | 73440 | 11016 | 11016 | 11016 | 11016 |
| 标记成本 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 |
| 总成本 | 317440 | 338992 | 326032 | 31468 | 202870 |

注：运营成本估算的假设和计算详见附录。

定量估计 RFID 实施所带来成本上的节约：为了估算两项 RFID 应用的效益，设计了相关的问卷调查。问卷调查发给 39 个零售商店，目的是收集关于订单接收和结账的业务流程的绩效情况。问卷调查的问题主要关于未使用 RFID 技术时订单接收和结账进行的平均时间。如表 19-5 所示，平均时间是一个关键绩效指标。使用 Delphi 方法对 IT 和商业人士进行采访，进而估算引进 RFID 技术后，在运营时间上所带来的节省。这项估算值可看作是引进 RFID 技术后运营成本的减小量。而两项应用的主要收益是就运营成本减小而言的。然而，RFID 不仅实现了降低成本，还能获得额外收益，如销量和竞争力的提高，然而这些无法准确地进行量化估计。

**表 19-5　RFID 对关键绩效指标影响的估计，用于计算节约成本**

| RFID 应用 | 关键绩效指标 | As－Is（无 RFID） | To－Be（启用 RFID） | 单位 |
|---|---|---|---|---|
| 订单接收 | 接收订单的平均处理时间 | 70 | 15 | min |
| | 接收订单，以及对其进行处理所需要的雇员 | 2 | 1 | 人 |
| 结账 | 雇员处理结账的平均时间（已有定价的商品） | 5.00 | 2.00 | min |
| | 雇员处理结账的平均时间（产品包装袋上无产品价格的产品） | 5.00 | 0.00 | min |
| | 一年中上述事件发生的概率 | 104.00 | 0.00 | 件 |

估算成本节约量时，考虑如下三种类型的节约（见表 19-6）：

1）实施 RFID 所减少的订单处理时间，从而节约年度运营成本。这个过程包括识别和记录接收到的产品，以及检验接收产品是否同预定产品一致。

2）实施 RFID 所减少的结账处理时间，从而节约年度运营成本，特别是对于销售收据的处理过程。

3）在结账过程中，减少雇员处理遗失产品代码的物品的时间，从而节约年度运营成本。

**表 19-6　引入了 RFID 的应用程序的节约成本估算**　　（单位：€）

| RFID 应用 | 成本节约的类别 | 商店类型 1 | 商店类型 2 | 年成本节约 | 计算公式 |
|---|---|---|---|---|---|
| 订单接收 | 由于减少了订单处理所需的时间，节约了年度运营成本 | 409688[1)] | 186875 | 596563 | （时间（当前）×员工数目（当前）－时间（对将来的预计）×员工数目（对将来的预计））/60×工时成本×每年总订单量 |
| 结账 | 由于减少了订单结账所需的时间，节约了年度运营成本（产品定价） | 427500[2)] | 195000 | 622500 | 每次处理销售收据的时间消耗/60×工时成本×年度总销售量 |
| | 减少雇员处理遗失产品代码的物品的时间，从而节约年度运营成本 | 5027[3)] | 8233 | 13260 | 每个事件减少的时间×总年度事件的数量/60×工时成本×商店的数量 |
| 联合两个 RFID 应用 | | | | 1232323 | |

注：关于 1）、2）、3）进行详细计算，相关公式的解释在附录中。

可以基于以下方法估算成本节约量：将时间消耗与负责订单接收的雇员的平均时薪 15€/h 相乘，以及将时间消耗与负责结账的雇员的平均时薪 10€/h 相乘。根据各独立应用的情况，再将这些数据乘上商店的数目，或是接收订单的数目，或是销售量。这些数据来源于零售商的会计部门，并列入本章附件中（见“成本节约估算的假设”）。表 19-6 描述了估算成本节约量的过程。

**表 19-7　估算两项应用的联合 NPV 和独立应用的 NPV**　（单位：€）

| 年 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 对于 RFID 应用的 NPV 估算（订单接收）： | | | | | | |
| TS | | 596563 | 596563 | 596563 | 596563 | 596563 |
| TC | 791200 | 317440 | 316720 | 303760 | 292096 | 281598 |
| GM | －791200 | 41762 | 42482 | 55442 | 225346 | 314964 |
| NPV | －466789 | | | | | |
| 对于 RFID 应用的 NPV 估算（结账）： | | | | | | |
| TS | | 635760 | 635760 | 635760 | 635760 | 635760 |
| TC | 788400 | 317440 | 316624 | 303664 | 292000 | 281502 |
| GM | －788400 | 81800 | 82616 | 95576 | 264920 | 354257 |
| NPV | －356173 | | | | | |
| 联合 NPV 估算（两个应用）： | | | | | | |
| TS | | 1232323 | 1232323 | 1232323 | 1232323 | 1232323 |
| TC | 992800 | 317440 | 338992 | 326032 | 314368 | 303870 |
| GM | －992800 | 617043 | 595491 | 608451 | 818675 | 928452 |
| NPV | 886585 | | | | | |

注：NPV 估算是在投资的净现金流量（总储蓄－总成本－摊销－税金）的折现值基础上进行的。此处，TS：总储蓄；TC：总成本＝CAPEX＋OPEX；GM：毛利＝总储蓄－成本－摊销。

NPV（净现值）估算：在确定两项应用的成本和收益后，利用 NPV 方法进行投资的财务评估（见表 19-7）。“订单接收”和其相关后续“结账”应用投资的 RFID 应用的联合，NPV 值被证实了是正值（886585€），而独立的 RFID 应用“订单接收”的 NPV 为负值（－466789€），“结账”应用的 NPV 值也为负值（－356173€）（见表 19-7）。导致这种现象的原因是当 RFID 应用组成一个应用组共同实施时，共享的资源作为资本成本和运营成本，形成了各应用之间的“资源依赖”关系。由于成本共享，总支出得以减少。此外，这两项应用创造了“价值协同”和“利益相互依存”，和独立实施时相比，它们共同实施时创造了额外利益。特别地，当考虑到两项应用投资是相互依存的，并且进行联合估算时，企业每年的节约量（运营成本的减少结果）（1232323€）高于这些应用在独立评估时预计的结果。在两项应用作为独立应用进行发展和评估时，这种协同效应是无法得到有效利用的。

综上所述，对于企业来说，考虑相关后续应用，即自动结账应用所带来的收益

后，投资订单接收 RFID 应用是有价值的。但是，若企业对两项应用分别评估后，得到了负的 NPV，企业便可能会拒绝投资。

## 19.5 讨论

本章描述用于 RFID 应用投资评估的方法，该方法与利用标准 NPV 方法进行评估不同。如果利用标准 NPV 方法对两项待分析的 RFID 应用分别评估，NPV 对单个应用的评估结果为负值，则投资被拒绝。相反地，如果对这两项应用进行联合评估，综合考虑它们之间相互依存的关系，得到的联合 NPV 值为正值，投资便不会被拒绝。即使 RFID 应用由 NPV 评估为负值（很难作为合理的投资对象），也要考虑其相关应用具有后续投资的潜在机会，能使投资商接受该应用的评估结果。

这两种评估方法是基于成本 – 效益分析和 NPV 估算。但是，标准 NPV 方法并没有考虑 RFID 应用间的协同功能，如本次研究方法中利用到的成本和价值的相互依存关系。将 RFID 应用视作一个相关联的组合投资，它们可以共享成本，积累商业价值，帮助企业判断是否应该投资或者进行 RFID 技术的部署。

本次 RFID 技术的研究利用信息系统和其他系统间相互依存性的理念。这是评估互相关联 RFID 项目时得出的结论，RFID 应用项目中除了独立实施的 RFID 应用外，都可以产生成本节约和商业效益。另外进化的概念也应用在基于 Lee 模型的 RFID 评估中。当评估 RFID 的初始投资时，后续潜在投资的价值也应作为第一阶段投资项目的附加价值考虑在内，否则便会低估初始项目的价值。

由于该方法基于信息系统，并且已被多种不同种类的信息系统投资所使用，所以可以认为该方法的适用性已经超出了 RFID 技术投资和实验企业的范围。利用本章概述的方法，其他企业也可利用候选投资项目的共同特征和可能的后续投资机会来进行投资决策。

企业也许不会选择投资一系列的 RFID 应用，而可能仅限于只对单个应用感兴趣。在这种情况下我们提出的方法是不适用的。这个方法只是两项 RFID 业务应用的一个案例研究，结论推广性有限。

由于该方法运用相互依存和进化的理念，与标准技术有所不同。但是它仍然采用现金流折现法（DCF）来估算 RFID 投资。这种方法被认为是无法估计战略性投资。本次研究的局限性体现在经过审核的 RFID 应用价值是基于财务度量而不是财务战略性。而 RFID 实施带来的价值不只是节约成本，还可以提高客户服务质量。例如，通过利用仓储运营流水线操作来增加产品货架的利用率或防止出现大量客户结账时排长队的现象。该方法为企业提供了一个竞争优势，同时，增值服务和增强的客户关系管理都可提升企业的竞争力，增加企业的销售量。未来研究需要关注这些预期效益。

在本章提出的方法中，利用 NPV 方法忽略了企业在进行投资时的灵活性和可能带来的未来的机遇，研究过程是假设企业同时进行初始投资和后续投资。但是当企业进行后续投资发生在部署完初始投资之后又该如何解决？这种时候便不能通过我们的方法进行考虑，但是可以通过其他如实物期权的方法来评估。利用实物期权方法来评估 RFID 技术投资则需要进一步研究。根据 Benaroch 的期权类型学，多代产品项目的基础设施也是一种增长期权。因为是基于同一套基本设施产生的复合业务应用和商业机遇，所以，RFID 项目可以看成属于这种类型的项目，并通过这种方法进行评估。

## 19.6　结论

本章探讨了 RFID 应用的相互依存性和 RFID 投资评估的进化理论。得知考虑一个相关联的有序应用集，利用各应用间的相互依存关系进行投资评估的方法比利用独立应用进行投资评估更能恰当地对 RFID 技术进行评估。该方法可以减少总开支，通过共享成本和从各应用的复合运用获得利益来增加企业收益。

从理论的角度来看，现有文献中对 RFID 技术投资评估时，缺乏考虑“相互依存性”和“进化性”两个方面的特点，本次研究对此进行填补。从实际的角度出发，是为了证明企业在投资 RFID 技术时需要考虑将初始投资作为未来后续关联应用投资的基础。企业需要实现 RFID 应用的多样化，以便利用各应用之间的协同性最大化利益和减少投资成本。

若使用其他方法，如实物期权法，来分析企业对阶段性项目投资规划中的相关后续 RFID 应用的投资选择，则需要进一步研究 RFID 的投资评估。此外，对其他不同系列的 RFID 项目组合的评估得到最有利的组合还需要进一步的研究。

**致谢**：作者 Andriana Dimakopoulou 要感谢 Alexander S. Onassis 公益基金会设立的奖学金对博士论文研究的支持。

## 附录

**1. 资本成本估算的计算和假设**（见表 19-3）

对于资本成本的估算，提出了几项假设。由于篇幅有限，这些假设的一些实例和相关的计算介绍如下。在 RFID 设备成本方面，考虑了两种不同种类的商店。例如商店类型 1，假设每家商店都有一个阅读器，并且被两个应用共用。其中，应用 1 需要 2 根天线，应用 2 需要 3 根天线。阅读器、天线和打印机的价格分别为 2500€、400€、4000€。计算得到的总数乘上商店的数目（类型 1 商店有 58 个，类型 2 商店有 95 个）。除了商店以外，零售商的中心仓库装备也有 RFID 设备。2 个

带 2 根天线的阅读器和 2 个打印机，总成本为 13800€。安装成本假设为每个商店 3 小时的人工，安装人员的时薪为 200€/h。商店类型 1 的总安装费用为 34800€（200€/h ×3h ×58 家店）。

**2. 运营成本估算的假设和计算**（见表 19-4）

1）RFID 标签成本：对于 RFID 标签成本的估算，假设标记过程在单个商品项的水平上，估算的标签数为 1200000。假设每个标签价格每年减少 10%，第一年为 0.12€到第五年为 0.08€。

2）标记成本：假设每个标签的标记时间为 15s。按时薪 20€/h 和总共 1200000 的标签数目来计算，总的标记成本为 100000€。假设每年的标记成本固定不变。

3）培训成本：假设第一年每个商店需要培训 2 个职员，每个职员培训 8 小时，培训成本为每人 30€/h。153 家商店第一年总的培训成本为 73440€。对于接下来的年份，估计这笔费用的 15% 用于每年的额外培训，总共需要 11016€。

4）设备及软件的更新和维护成本：硬件维护和更新成本作为设备（存储设备、中央仓库、服务器、PC）的资本成本（见表 19-3）中的一部分计算（12%）。同样，软件的更新和维护也作为定制软件资本成本的一部分来计算（12%）。这种类型的资本成本在表 19-3 中由粗体显示。其余的资本成本种类（如安装成本）由于只在初始投资处出现，因此在运营开支中不再考虑。特别地，这种类型的成本需按各自应用单独计算，且每年都是固定不变的。例如，两项应用都实施，设备维护成本估算为每年 85896€（见表 19-4），而如果订单接收业务实施时没有实施结账业务，则成本为 68424€。

**3. 成本节约估算的假设**（见表 19-8）

**表 19-8 成本节约估算的假设**

| 商店类型 | 商店数量 | 每年所有商店接受的订单总数 | 每年所有商店接受的销售量 |
|---|---|---|---|
| 1 | 58 | 13110 | 855000 |
| 2 | 95 | 5980 | 390000 |

**4. 成本节约估算的计算过程**（见表 19-6）

1）（时间（当前）×员工数目（当前）－时间（对将来的预计）×员工数目（对将来的预计））/60 ×工时成本 ×每年总订单量 = >（每张订单 75min ×2 个员工－每张订单 15min ×1 个员工）/60 =2.08€的每小时每张订单节约成本量 ×15€/h（时薪）=31.25€的每张订单的成本节约量 ×每年 13110 张订单 =409687.50€，这是所有商店类型 1 的订单运营成本节约量。

2）每次处理销售收据的时间消耗/60 ×工时成本 ×年度总销售量 = >每次处理销售收据 3min/60 =0.05h ×10€/h（时薪）=每次销售获益 0.5€ ×855000 的销售量（58 家商店）=427500€，这便是所有商店类型 1 结账业务的总成本节约量。

3）每个事件消耗的时间 ×商店数目 ×工时成本 ×年度总识别数目 = >单个事

件消耗时间 5min × 每年每家商店 104 个事件 = 520min/年/60 = 每年每家商店 8.667h × 10€/h（时薪）= 每家商店 86.67€ × 58 家商店 = 5027€，这便是所有商店类型 1 每年搜寻产品代码时节省的时间所带来的总成本的节约量。

# 参 考 文 献


Benaroch M (2001) Option-based management of technology investment risk. IEEE Trans Eng Manage 48(4):428–444

Benaroch M (2006) On the valuation of multistage information technology investments embedding nested real options. J Manage Inf Syst 23(1):239–261

Bottani E, Rizzi A (2008) Economical assessment of the impact of RFID technology and the EPC system on the fast-moving consumer goods supply chain. Int J Prod Econ 112: 548–569

Cole PH, Ranasinghe DC (2008) Networked RFID system: raising barriers against counterfeiting, Springer, Germany

Curtin J, Kauffman RJ (2007) Making the most out of RFID technology- a research agenda for the study of the adoption, usage and impact of RFID. Inf Tech Manage, 8:87–110

Doerr KH, Gates WR, Mutty JE (2006) A hybrid approach to the valuation of RFID/MEMS technology applied to ordnance inventory. Int J Prod Econ 103:726–741

Dos Santos B (1991) Justifying investments in new information technologies. J Manage Inf Syst 7(4):71–90

Fleisch E, Tellkamp C (2005) Inventory inaccuracy and supply chain performance: a simulation study of a retail supply chain. Int J Prod Econ 95:373–385

Iniestra JG, Gutierrez JG (2009) Multi-criteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework. Appl Soft Comput 9(2): 512–526

Jones P, Clarke-Hill C, Shears P, Comfort D, Hillier D (2004) Radio frequency identification in the UK: opportunities and challenges. Int J Retail Distrib Manage 32(3):164–171

Jones MA, Wyld DC, Totten JW (2005) The adoption of RFID technology in the retail supply chain. Coastal Bus J 4:1

Karagiannaki A, Mourtos I, Pramatari K (2007) Simulating and evaluating the impact of RFID on warehousing operations: a case study. In summer computer simulation conference, July 15–18, San Diego, CA

Kim J, Tang K, Kumara S, Yee S, Tew J (2008) Value analysis of location-enabled radio-frequency identification information on delivery chain performance. Int J Prod Econ 112(1): 403–415

Kok AG, van Donselaar KH, van Woensel T (2008) A break-even analysis of RFID next term technology for inventory sensitive to shrinkage. Int J Prod Econ 112(2):521–531

Lee H (2007) Peering through a glass darkly. ICR 7:60–68

Lee JW, Kim SH (2000) Using analytic process and goal programming for independent information system project selection. Comput Operat Res 27:367–382

Lee LS, Fiedler KD, Smith JS (2008) Radio Frequency identification (RFID) implementation in the service sector: a customer-facing diffusion model. Int J Prod Econ 112:587–600

Liesiö J, Mild P, Salo A (2008) Robust portfolio modeling with incomplete cost information and project interdependencies. Eur J Oper Res 190:679–695

Moon KL, Ngai EWT (2008) The adoption of RFID in fashion retailing: a business value-added framework. Ind Manage Data Syst 108 (5):596–612

Ngai EWT, Moon KKL, Liu James NK, Tsang KF, Law R, Suk FFC, Wong ICL (2008) Extending CRM in the retail industry: an RFID-based personal shopping assistant system. Commun Assoc Inf Syst 23(16):277–294

Nolan RL (1973) Managing the computer resource: a stage hypothesis. Communications of the ACM 16(7):399–405

Panayi S, Trigeorgis L (1998) Multi-stage real options: the cases of information technology infrastructure and international bank expansion. Q Rev Econ Finance 38:675–692

Porter ME (1985) Competitive advantage: creating and sustaining superior performance., The Free Press, New York, NY.

Pramatari KC, Doukidis GI, Kourouthanassis P (2005) Towards 'smarter' supply and demand-chain collaboration practices enabled by RFID technology In: Vervest P, van Heck E, Louis-François P, Kenneth P (eds) Smart business networks, Springer, Heidelberg

Rekik Y, Sahin, Dallery Y (2008) Analysis of the impact of the RFIDnext term technology on reducing product misplacement errors at retail stores. Int j Prod Econ 112(1):264–278

Roussos G, Koukara L, Kourouthanasis P, Tuominen J, Seppala O, Frissaer J (2002) A case study in pervasive retail. Proceedings of the 2nd international workshop on mobile commerce, September 28, Atlanta, GA, USA. doi:10.1145/570705.570722

Santhanam R, Kyparisis G (1996) A decision model for interdependent information system project selection. Eur J Oper Res 89(2):380–399

Subirana B, Eckes C, Herman G, Sarma S, Barret, M (2003) Measuring the impact of information technology in value and productivity using a process-based approach: the case for RFID technologies. MIT sloan working paper No 4450–03

Tajima M (2007) Strategic value of RFID in supply chain management. J Purch Supply Manage 13:261–273

Taudes A (1998) Software growth options. J Manage Inf Syst 15(1):165–185

Tzeng SF, Chen WH, Pai FY (2008) Evaluating the business value of RFID: evidence from five case studies. Int j Prod Econ 112(2):601–613

Uhrich F, Sandner U, Resatsch F, Leimeister JM, Krcmar H (2008) RFID in retailing and customer relationship management. Commun Assoc Inf Syst 23(13):219–234

Venkatraman N (1990) IT-induced business reconfiguration In: Scott-Morton, M (ed) The corporation of the 1990s. Oxford University Press, New York, NY

Verma D, Sinha K (2002) Toward a theory of project interdependencies in high tech R&D environments. J Operat Manage 20:451–468

Violino B (2005) Leveraging the internet of things. RFID J. November/December:1–2.

Von Bertalanffy L (1969) General systems theory: foundations, development, applications. G.Braziller, New York, NY

Wamba SF, Lefebvre L, Bendavid Y, Lefebvre E (2008) Exploring the impact of RFID technology and the EPC network on mobile B2B eCommerce: a case study in the retail industry. Int j Prod Econ 112:614–629

Wang SJ, Liu SF, Wang WL (2008) The simulated impact of RFID next term-enabled supply chain on pull-based inventory replenishment in TFT-LCD industry. Int j Prod Econ 112:570–586

Yeo KT, Qiu F (2003) The value of management flexibility-a real option approach to investment evaluation. Int J Proj Manage 21(4):243–250

Yourdon E (1989) Modern structured analysis. Yourdon Press, Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, NJ

# 第 20 章　RFID 技术对库存系统的影响分析

Yacine Rekik

**摘要**：现在，很多企业都加大了对支撑库存管理决策的信息系统的相关投资。但是，如果从物理流程中收集的数据有误，而该数据又被输入到了信息系统中，会严重影响企业的业绩。当信息系统中的库存量与实际可用库存量不符时，便会导致库存误差。本章首先分析了产生库存误差的主要因素，然后提出一种能够避免库存误差的方法，同时提出了一种库存误差模型，并研究由 RFID 技术提供的先进识别系统对改善供应链库存误差方面的影响。

## 20.1　引言

有关库存模型的现有文献很少区分库存记录和实际库存。通常认为两者具有相同的意义，人们主要关心的是：库管经理如何通过对需求和库存量的观察，确定何时对仓库进行多少数量的补充。实证调查研究证明上述观点是错误的。通过对优秀的零售商进行研究，并调查了接近 370000SKU（库存单位）之后，Raman 等人发现超过 65% 的库存记录与实际库存量不符。另外，20% 的库存记录中至少有六种物品的实际库存不符合记录的数量。

通常，准确性是指在正确的时间得到正确的测量值。Iglehart 和 Morey 以及 DeHorativs 和 Roman 认为，库存信息系统与实际库存量不匹配导致了库存误差。Ernst 等、Buker、Bernard、Chopra、Young、Martin 和 Goodrich 对准确性也进行了相应的定义，与上述定义相差无几。例如，1984 年，Ernst 等建议使用控制图表来监测库存准确率的变化。1985 年，Bernard 在对准确性的定义中，考虑了库存记录中错误记录的比例，而不是差异的比例。1987 年，Martin 和 Goodrich 定义准确性为库存的实际现金价值与库存记录的现金价值差。综上各种定义，作者认为，当记录库存量与实际库存量不符时，库存是不准确的。

本章的主要目的是全面研究库存误差问题，以及阐述由于 RFID 技术的引进减少了不准确性，从而提高供应链的绩效的方法。本章接下来将对导致库存误差的主要因素进行探讨：作者简要讨论对库存性能影响的各种因素，并对这些因素进行简要介绍。在 20.2 节中，作者提供了几种处理库存误差的方法。为此，我们说明，RFID 技术将是一种减少库存误差的好方法，近年来，出现了关于在这方面的许多研究。20.3 节提出了一种库存误差模型，并阐明如何衡量 RFID 对该系统的影响。

20.4 节对本章进行总结。

## 20.2　库存误差的技术发展水平

库存误差是阻碍企业业绩提高的主要障碍之一。即使各企业加大投资以改善库存管理，库存信息系统和实际库存之间依然很少能保持一致。导致库存误差的原因是多方面的，本节将对这些因素进行综合分析。根据经验和定性研究，我们主要对误差精度进行考察，同时对每个误差进行定性分析。

### 20.2.1　交易错误

交易错误是指在库存交易期间出现的意外错误。一些失误发生在清算库存、接收订单或收银机结账过程中。

当消费者购买价格相同的两个相似商品（并非完全一样）时，如果收银机对其中一个商品的标签扫描两次，而没有对另外一个商品进行扫描，此时便会发生结账错误。这种情况下，收银机避免了额外登记多余商品项，确保消费者支付正确的金额，同时节省了消费者的时间。然而，这种操作会导致信息系统中的数据与实际库存数据的不匹配。同样，在取货过程中也会导致库存记录的错误。例如，仓库员工无意中向某商店输送了数量有误的某特定商品或者（甚至同时）输送了错误的商品。DeHoyatius 和 Raman 认为，服装仓库员工易混淆不同尺寸的服装，如中号和大号衣服。一般情况下，商店在收货时不会对商品进行扫描，使得这样的错误容易发生，并很难被发现。2004 年，Sahin 在其博士论文中提出了一种库存系统的综合分析方法。Sahin 认为，导致交易错误的主要原因有：

1）条形码系统技术的局限性。

2）库存操作人员与条形码系统之间错误的信息交换。这些错误导致了物体识别错误、计数错误及数据输入错误。

### 20.2.2　错位错误

当部分库存商品的摆放位置发生错误时便会导致错位错误，这种错误的产生将使得客户需求得不到满足，直至错位的商品被发现。Chappell 等人认为，主要有三种原因导致了错位发生：①消费者把在某个位置取走的商品放在了另一个位置；②工作人员没有及时地将商品放在正确的货架上；③工作人员在仓库丢失了某商品。Ton 和 Raman 对一家大型零售商的 333 个商店进行了为期一年的调查，结果发现，①错位商品量的增加与商品种类的增加和每种商品的库存量的增加有关；②错位商品数量的增加会导致商店销售量的减小。Camdereli 和 Swaminathan 表示，在仓库的管理过程中也会发生库存错位。类似于 Doom Ⅱ和 Driver 的电脑游戏开发者，G. T

交互因库房库存错位导致生产率下降。从根本上说，导致这些现象的原因在于供应链中产品错位，以及在销售过程中出现的产品不足，这些问题都是可以通过对库存进行清理而得到解决。

错位库存对库存性能具有重大影响。根据 Raman 等人的报告，在一个“较为优秀的零售商”的商店中，有 16% 的商品因错位放置而无法被顾客找到。这使得该商店的利润下降了 25% 。

2008 年，Rekik 等人通过比较三种不同的方法，模拟了随机错位对零售供应链的影响。第一种情形是零售商没有发现商品错位的存在，认为库存信息是无误的，并根据库存信息摆放商品。第二种情形是零售商发现库存状态信息中出现商品错位现象，并对订货策略进行相应调整。第三种情形是假设零售商使用基于 RFID 技术的正确无误的库存状态信息，并给出使用 RFID 技术产生成本效益的临界成本值。作为之前调查的扩展，Rekik 等人考虑了错位的类型，以及 RFID 技术对分散供应链的影响。他们将两种策略进行对比，其中，第一种策略与 RFID 技术的部署相关，第二种策略利用改进的回购合同进行协调。Gaukler 等人针对 RFID 技术对零售供应链的影响进行了研究。他们建立报童模型，该模型考虑了商店低效率的补货流程（从仓库到货架）对库存系统的影响；然后基于该模型研究了如何在供应链参与者之间共享 RFID 实施成本，并确定基于 RFID 供应链的协调合同。Camdereli 和 Swaminathan 依据统一的分布需求和错误，对分散供应链中的错位类型进行研究。

## 20.2.3　商品损坏

对大型超市而言，易损物品是行业盈利的推动力，同时也意味着该行业具有很大改进的空间。美国易损物品的年销售额约 2000 亿美元，但是由易腐、易损物品带来的损失高达 15% 。有效期受限的食物和药物为易腐物品的典型。同时，顾客的某些行为也可能使商品受损以致无法出售，如撕毁包装以试穿衣物、试穿鞋子时导致鞋子的磨损、演示电脑时无意删除了某些软件、试穿的衣物被粘上食物、试车时刮坏车身等。这些损坏可能没有被库存经理发现从而造成库存误差。

据 Sahin 称，导致库存中的物品过期的原因有以下两点：

1）过高预测客户需求，导致大量商品没有及时售出。

2）不能准确地跟踪商品位置、状态以及商品的存储时间。

联合产业滞销监督委员会发起了一项行业调查，对美国零售业滞销商品量水平进行了统计。来自于 60 多个制造商和零售商的反馈结果显示，滞销食品和杂货的成本占美国销售额的 1% 。在所有滞销商品中有 63% 的受损商品、16% 的过期商品和 12% 的停用产品。最近，Ilic 等人对供应链中易腐、易损物品传感信息的影响进行了模拟研究。

### 20.2.4 盗窃行为

库存盗窃行为包含员工盗窃、入店行窃、内部或外部盗窃、供应商诈骗和管理失误。关于库存缩减现象的 ECR[㊀]（有效客户响应）欧洲项目，分析了库存丢失的原因并提出了一种系统、协同的方法。该方法能够在整个供应链上减少库存丢失现象的发生。ECR 定义“缩减”的根源为管理错误、欺诈、内部和外部盗窃。Beck 认为内部盗窃包含以下几种典型：

1）员工将商品藏在行李包内或是故意将商品放在商店外，以便于下班后带出。

2）员工与顾客合谋偷窃。即员工不扫描商品或保安人员纵容顾客将未扫描的商品带出。

3）仓库中的商品被仓库员工私自使用。

欧洲 ECR 的调查结果表明，2003 年，快速消费品行业的库存缩减损失约 240 亿欧元（相当于每周有 4.65 亿欧元的快速消费品营业额损失），是整个行业营业额的 2.41%。管理错误和欺诈带来的损失分别占总损失的 27% 和 7%，内部盗窃和外部盗窃则分别为 28% 和 38%。

根据调查数据，2001 年，美国零售业内部和外部盗窃、管理错误与供应商诈骗导致的损失约为销售总额的 1.8%，这给美国零售商带来的损失为 330 亿美元。全国超市研究小组（NSRG）对美国的超市进行了调查，内部和外部盗窃、订单错误、物品损坏、记账错误及价格错误造成的损失约为总销售额的 2.3%。这些数据只是针对商品的价值，并不包括处理成本（如损坏物品的处理成本）。Kang 和 Gershwin 利用模拟法分析了库存误差的影响。他们指出即使很小的未被发现的错误都可能造成商品的严重缺货。同时，他们提出了几种解决该问题的方法，如部署 RFID 技术。Fleisch 和 Tellkamp 也使用模拟的方法分析了库存误差对供应链的三个阶段的影响。考虑到错位类型，Rekik 等人分析了错位对库存决策的影响，并推导出成本阈值。当低于该成本阈值时，部署 RFID 技术的成本将更合理，并充分考虑了由一个制造商和一个零售商构成的分散供应链的库存误差。除此以外，他们还提出在集中和分散供应链上制定最优订货策略，并且考察了 RFID 部署对这些供应链的影响。Heese 研究了由 Stackelberg 为主要制造商和零售商组成的供应链的库存误差和随机需求。为了使公司采用 RFID 技术，他利用特定的分布函数计算得出了标签成本阈值。Rekik 等人在有限的条件下，对因盗窃导致的记录不准确的库存中的单个物品进行周期审查，通过优化持有成本来分析被盗商店存在的问题，他们还对盗窃的影响及利用 RFID 技术管理库存的价值进行了分析。

---

㊀ http://www.ecr.org/。

### 20.2.5　供应错误

当产品质量低、产量低或供应不可靠时，会使得实际库存不明确，进而导致实际存量与库存信息系统数据不符。产品质量不合格也会造成库存误差。Bensoussan 等人称，新增加的商品没有经过全面的检查便被直接添加到库存，结果导致信息系统中合格商品与不合格商品的并存，而不合格的商品是不能用来销售的。

## 20.3　库存误差模型：RFID 技术的影响

### 20.3.1　框架

本章考虑的供应链，包含三个组成部分：制造商、仓库和零售商。制造商生产产品，零售商将商品卖给最终的消费者，仓库则是制造商和零售商之间的桥梁，因为仓库从制造商获得商品，同时将商品转售给零售商。从库存管理的角度，零售商店和仓库满足消费者不同方面的需求。因此，可能存在下面两种结构：

结构 A：结构 A 的重心是零售商店。消费者本人需在零售商店内，而且他们的需求来自于实际库存货架。在这种结构中，信息系统不具有主导作用。

结构 B：结构 B 的重心是仓库。消费者并不一定在商店内，而且他们的需求来自于信息系统显示的库存量。在收到消费者的需求后，仓库便根据消费者的需求检查信息系统中的存货，并作出承诺。随后这个承诺在实际存货的基础上得到兑现。

存在库存误差时，这两种库存结构的库存管理方式是不同的。我们认为这两种结构的主要区别在于结构 B 中的仓库需给出承诺。结构 A 中的零售商不需要给出承诺，因为消费者本人是在商店内的，零售商可以直接满足消费者的需求。

备注 1：网络零售商的库存系统为结构 B，因为消费者的需求是基于信息系统的。

备注 2：从库存管理的角度来看，当结构 A 的可销售商品数量与结构 B 的可销售商品数量 $Q_{IS}$ 相当，即 $Q_{IS} \leqslant Q_{PH}$ 时，结构 A 可看做是结构 B 的一种特例。实际上，存在误差时，零售商店的产品可销售量总是低于实际的总存量。

结构 B 需要注意以下事件的顺序。在销售季节来临前，库存经理需要根据预测的需求量从制造商处预定一定数量的商品，然后由仓库接收并储存商品。在销售季节初期，库存经理接收客户订单，并将累积的客户订单数与信息系统中的商品数进行核对。如果累积订单数小于信息系统中的商品数 $Q_{IS}$，库存经理则接收客户订单；否则，只接收与 $Q_{IS}$ 数量一致（不超过 $Q_{IS}$）的订单。接下来，从仓库运出商品并交给客户。库存经理应满足承诺的所有客户订单，除非实际存量小于承诺的商品数量。但是在销售旺季，由于商品无法及时补给，可能不能满足客户订单需求。

在销售季节之前，库存经理应确定供应系统的最佳订购数量，以满足客户的总

需求。库存经理的决策可能面临三种风险：①销售季节末期可能出现商品剩余；②商品短缺；③不能按订单需求向客户提供如实数量的商品。因此，结构 B 中，库存经理的决策就对应了三种类型的成本。

1）$h$：销售季节末期，剩余商品的单位盘盈成本。

2）$u_1$：由库存经理拒绝的订单产生的单位盘亏成本。

3）$u_2$：库存经理接收了订单，但最终没有按照订单的商品数量交付给客户产生的单位盘亏成本。

值得注意的是，$u_2$ 成本是表征仓库的特征参数。由于消费者本人是出现在零售商店内的，故该成本对零售商而言是不存在的：如果某商品当前缺货，消费者则不考虑购买；否则，消费者需求可立即得以满足。当信息系统中的商品库存量不能满足客户需求时，才会产生 $u_2$ 成本。

在考察库存数据误差对库存系统的影响时，需要对错误类型进行表征。通常设置变量 $Q$ 为订货单的数量，实际库存量与信息系统中的库存量分别表示为 $Q_{PH}=\gamma_{PH}Q+\varepsilon_{PH}$，$Q_{IS}=\gamma_{IS}Q+\varepsilon_{IS}$，其中随机变量（$\gamma_{PH}$，$\varepsilon_{PH}$）和（$\gamma_{IS}$，$\varepsilon_{IS}$）表示实际库存量的误差和信息系统库存量的误差。利用混合误差的设定，可以区分以下两种误差设定：

加性误差设定：$Q_i=Q+\varepsilon_i$，$i\in\{PH，IS\}$。

乘性误差设定：$Q_i=\gamma_iQ$，$i\in\{PH，IS\}$。

其次，需要讨论存在库存误差的库存系统的管理方式。有误差存在时，应根据库存经理是否知道误差的存在，分为两种情况。参考以下两种情况来区别之前的案例：

情况 1：库存经理不知误差的存在，或简单地忽略掉了误差。

情况 2：库存经理已知库存系统存在误差。

对于情况 2，我们可以根据库存经理手头上的误差参数来区别以下两类案例。第一类案例为库存经理充分了解误差参数，如误差的意义及分布。第二类案例为已知产生误差时的准确信息。两类案例的区别在多周期结构中才具有意义。

关于情况 2，可以利用 2002 年 Pergamalis 提出的用于测量商品库存准确率的统计抽样法估计误差参数。

与情况 2 相反，情况 1 的建模和优化更容易。事实上，情况 1 是假设库存经理不知误差的存在。所以他的订单决策或补给政策与客户的商品订单数或无库存估计误差的补给政策近似一致。

### 20.3.2 RFID 技术的影响：定量分析

RFID 技术是由 RFID 标签和阅读器组成的一种无线技术。RFID 标签和阅读器通常通过网络计算机与信息系统连接。RFID 标签分为有源标签和无源标签。有源

标签通过内装电池供电，无源标签没有内装电池。这就导致了价格上的差别。基于 RFID 标签的特性，通过阅读器非物理接触的方式直接读取 RFID 标签数据。通过将标签运用于包装和装载等行业，如运输包装、货盘以及集装箱等，极大促进了物流和库存管理的发展。

RFID 技术发展迅速，为企业改善供应链可见度提供了机遇。通过不断增加的 RFID 技术投资可以看出，供应链中的 RFID 应用正稳步增加。Aberdeen Group Klein 在过去一年里对使用 RFID 技术的 600 多个企业进行了调查。调查表明，制造商的 RFID 年均预算迅速增加，从 2006 年的 5 万 ~7.5 万美元增长到 2007 年的 10 万 ~20 万美元。RFID 投资已经极大缩短了企业业务运营周期、即时交付、库存安全和转换时间。

一些研究者特别强调 RFID 技术所带来的机遇。在物流领域，Jim Wu 和 Chen 对配送中心的运营效率进行了仿真预测研究。研究表明，完善的 RFID 系统（100% 的读取率）能减少 15% 的库存，减少 15% 的空间使用率，同时避免了脱销商品。Holmquist 和 Stefansson 研究了用于管理到货检验和装载集装箱的移动 RFID 系统。研究发现，使用 RFID 技术可以减少到货检验的时间和集装箱的装载时间，除非每个集装箱的装载量很小。Jargumilli 和 Grasman 则运用虚构数据对使用了 RFID 标签的供应商管理库存进行建模。2007 年，Choy 等提出了一种利用 RFID 技术简化分配过程的物流信息系统，并对利用该信息系统解决中型物流服务公司的分配管理问题的案例进行了讨论。作者发现，RFID 系统可大幅度提高企业的整体分配性能。

在库存控制方面，许多库存误差相关的调查研究是以 RFID 技术，以及对供应链的绩效影响为研究重点。事实上，RFID 的部署将有助于消除整个供应链上的误差来源：

1）在接收订单时，利用自动计数系统检测由供应系统的不稳定引起的误差。RFID 技术可利用基于 RFID 的电子交付证明减少接受订单时出现的误差。然而，使用条形码，可能出现商品的数量和种类的识别错误。

2）对于食品和易腐商品：

—RFID 便于 FIFO（先入先出）和定价管理。

—RFID 便于跟踪和保持低温运输系统的温度条件。

—RFID 有助于准确地预测需求和供应。准确、实时的库存量、销售量和生产量信息有助于业务重组，以减少过期产品数量，从而减少库存量。于是，一旦产品供应得以保证，可以将产品小批量地运往市场，从而更容易符合市场预期。同时，更快更有效地将从商品源到接收者的各种商品流合并起来。总体而言，RFID 可以保证产品供应的充足，从而增加销售量。各种零售应用方式还能进一步提高销售量，如自动交叉销售、产品信息显示。

3）通过预防小偷，加强对整个供应链中偷窃损失的数量和盗窃时间的定位方

式，减少因产品数量的缩减错误而产生的误差。通过增加食品流的透明度和实时可见度的方法，减少发货方与接收方或其他各点之间在运输过程中产生的商品损失。一般而言，标记级别（货盘、集装箱或商品）和阅读的频率决定了预防损失的程度。

4）在货架和仓库部署 RFID 阅读器可检测错位商品。

5）改善运输的准确性。配送中心和制造商经常将商品装载到错误的卡车上。使用 RFID 技术后，发生错误时，系统会向装卸工人从视觉或者听觉上发出报警信息。报警可节省公司的商品运输和二次运输费用，同时加强了库存控制。

是否投资 RFID 技术，取决于 RFID 技术的部署成本和投资后可能带来的成本节约之间的权衡。考虑到 RFID 相关的可变成本，如每个商品上的 RFID 标签成本，我们可以对 RFID 应用过程进行建模。需要注意到 RFID 在以下两个方面促进了仓库的库存管理：

1）增加可见度。例如，RFID 能够跟踪存储和运输中的商品，使得库存完全可视，从而可精确计算库存误差。此时的库存误差问题仅是基本的随机变量问题。

2）防止或减少库存误差源的影响程度。例如，如果能够将真实的客户需求和虚假的客户需求区别开来，如由盗窃产生的库存错误，那么库存经理可以采取相应措施以阻止盗窃的发生。

除情况 1 和情况 2 外，部署了 RFID 技术后也可能发生库存错误，即第三种情况。

情况 3：部署 RFID 后的库存误差问题。每件商品的购买成本包括了 RFID 标签成本，这也是一个基本的库存问题。

图 20-1 给出了三种情况对库存误差的影响及部署 RFID 技术的效益。

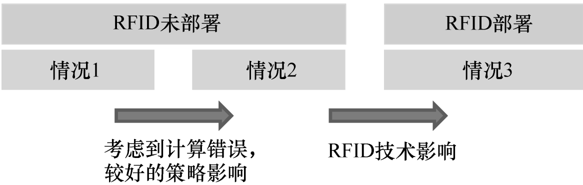



图 20-1　模拟场景

对比情况 1 和情况 2，在考虑误差问题时，能够帮助库存经理更深入了解收集错误信息和建立更优库存策略。对比情况 2 和情况 3，可以看出 RFID 技术的部署对于库存系统的重要作用。特别地，能够对以下关键问题进行解答：

1）RFID 的部署是经济可行的解决方案吗？

2）如果是，在什么样的价格范围内部署 RFID 是经济有效的？

下一节的目的是在假设误差是可加的前提下，从解析和数值量化的角度出发来回答以上的问题。

### 20.3.3　RFID 技术的影响：解析定量分析

为了分析 RFID 技术对库存的影响，需对比情况 2 和情况 3。假设供应链模型

为结构 B（见 20.3.1 节关于库存经理面临的系列事件）。考虑到加性误差设定，下面的结论为情况 2 和情况 3 并存时的最优订货策略。

在加性错误设定下，$Q_{IS}=Q+\varepsilon_{IS}$，$Q_{PH}=Q+\varepsilon_{PH}$，其中 $Q$ 为订单数量，$\varepsilon_{IS}$和$\varepsilon_{PH}$分别为表述 IS 和 PH 库存误差的随机变量。接下来再定义两个随机变量。定义 $D_m=D+\varepsilon_{IS}$为在概率密度函数$f_m$ 和累积分布函数 $F_m$ 下的随机变量；定义 $e=\varepsilon_{IS}-\varepsilon_{PH}$为在概率密度函数 $g$ 和累积分布函数 $G$ 下的随机变量。

**结论 1**　情况 2 下的最优订货策略：在条件 1 和条件 2 的约束下，存在唯一的最优订单数 $Q^*$ 使得情况 2 的库存管理预期成本函数取得最小值。$Q^*$ 为式（20-1）的解：

$$(u_1+h)F_m(Q^*)+(u_2+h)\int_{e=0}^{+\infty}g(e)[F_m(Q^*-e)-F_m(Q^*)]\mathrm{d}e=u_1 \tag{20-1}$$

式中，条件 1：$u_1$ 成本和 $h$ 成本满足 $u_1\geqslant\frac{F_m(0)}{2+F_m(0)}h$；条件 2：修正后的需求分布满足：$\frac{f_m(x)}{f'_m(x)}$为 $x$ 的增函数。

由库存管理产生的最优预期成本[㊀]为

$$C(Q^*)=u_1E[D_m]-(u_1+h)\int_{D_m=0}^{Q^*}D_mf_m(D_m)\mathrm{d}D_m$$

$$+(u_2+h)\int_{e=0}^{+\infty}\left[e-eF(Q^*-e)+\int_{D_m=Q^*-e}^{Q^*}D_mf(D_m)\mathrm{d}D_m\right]g(e)\mathrm{d}e-hE[e]$$

考虑到 RFID 技术的可变成本[㊁]，如商品标签成本，以下的结论 2 为使用 RFID 技术时的最优订货策略。以往的研究均假设 RFID 技术是一种零误差的解决办法，本节假定 RFID 技术只能保证 IS 和 PH 库存的一致。此时，只要通过 RFID 技术能实现商品的透明，库存问题便是关于附加标签成本 $t$ 的经典随机问题。库存经理采购的商品价格包括商品的原单位成本与 RFID 标签单位成本 $t$。$t$ 对持有成本（增加了 $t$）和初次短缺成本（减少了 $t$）有直接的影响。由于 IS 和 PH 库存量相符，RFID 的应用将不再存在二次短缺成本。

**结论 2**　情况 3 下的最优订货策略：应用 RFID 后的最优订货量为

$$Q^*_{RFID}=F_m^{-1}\left[\frac{u_1-t}{u_1+h}\right] \tag{20-2}$$

---

㊀　在这个表达式中，符号 $E[\cdot]$ 表示期望值。

㊁　关于固定成本的引入可以通过对额外的投资回报率（ROI）进行分析来完成。

相应的最优期望成本为

$$C_{\mathrm{RFID}}^{*} = u_1 E[D_{\mathrm{m}}] - (u_1 + h)\int_{D_{\mathrm{m}}=0}^{Q_{\mathrm{RFID}}^{*}} D_{\mathrm{m}} f(D_{\mathrm{m}})\mathrm{d}D_{\mathrm{m}} \tag{20-3}$$

对比情况 2 和情况 3，得出了可以确保 RFID 技术带来效益的关键性标签成本值，即结论 3。

**结论 3**　定义关键性标签成本 $t_{\mathrm{c}}$，使得满足 $t \leqslant t_{\mathrm{c}}$ 时，实施 RFID 技术可以获得正效益。$t_{\mathrm{c}}$ 为下面的等式的解：

$$\int_{F_{\mathrm{m}}^{-1}\left[\frac{u_1 - t_{\mathrm{c}}}{u_1 + h}\right]}^{F_{\mathrm{m}}^{-1}\left[\frac{u_1}{u_1 + h}\right]} D_{\mathrm{m}} f_{\mathrm{m}}(D_{\mathrm{m}})\mathrm{d}D_{\mathrm{m}} = \frac{u_2 + h}{u_1 + h}(1 - G(0)) \tag{20-4}$$

最后通过一个数值化的例子来结束解析分析。假设库存经理的需求决策服从正态分布 $N$（10，3）。IS 和 PH 误差都服从均值为 0 的正态分布（IS 误差的标准差 $\sigma_{\mathrm{IS}}$为 3）。假设在图 20-2 中，$h=1$，$u_1=0.4$；在图 20-3 中，$h=1$，$u_1=4$。取不同 $P$ 值时，利用 PH 误差的标准差 $\sigma_{\mathrm{PH}}$分析 $t_{\mathrm{c}}$ 的变化，其中 $P$ 为 $u_2$ 的惩罚因子（$u_2=u_1+P$）。

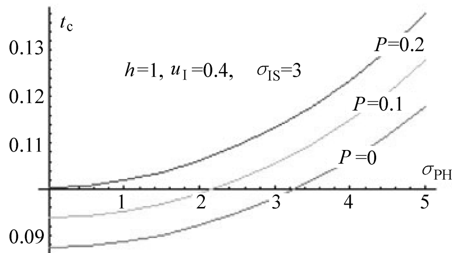



图 20-2　$t_{\mathrm{c}}$ 随 $\sigma_{\mathrm{PH}}$的变化 1

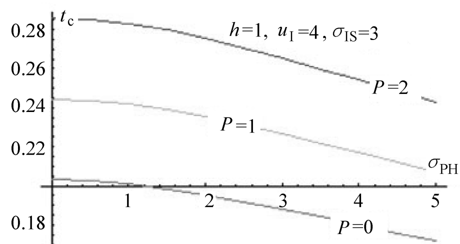



图 20-3　$t_{\mathrm{c}}$ 随 $\sigma_{\mathrm{PH}}$的变化 2

相比图 20-2，图 20-3 所示变化趋势更直观，例如，库存系统受误差影响越大，RFID 部署越容易，且关键性标签成本会随 $\sigma_{\mathrm{PH}}$的增加而减小。当 $u_1+u_2$ 的影响不如 $h$ 的影响大时（见图 20-2），图 20-2 所呈现的变化趋势可以认为是 RFID 解决方案存在误差而导致的，如读取错误、硬件故障等，这是因为假设的前提是 RFID 能保证 PH 和 IS 库存量误差的可见性，但不能保证 RFID 可以消除误差。结论表明，随着 $\sigma_{\mathrm{PH}}$增加，$C_{\mathrm{RFID}}^{*}$的增长速度比 $C(Q^{*})$ 的更快，这也是 RFID 标签成本降低的关键性原因。与预期的结果相同，在这两种情况下，$t_{\mathrm{c}}$ 都随惩罚因子 $P$ 的增加而增加。

## 20.4　结论

本章主要对库存误差进行了全面研究，并给出了应用 RFID 技术解决该误差问

题的方法。列出了主要的误差来源，并重点讨论了其对供应链的影响，同时简要介绍了该领域的主要调查研究。本章提出了用于模拟误差的概念性框架模型，给出了使用 RFID 改善误差的方法。通过三种模拟情况展示了考虑误差分布和部署 RFID 技术时，对更优库存策略的影响。最后，解析并量化研究了以 RFID 技术对存在误差的库存系统的影响。这项研究得出了 RFID 标签的关键成本值，此成本值可以使得 RFID 技术部署更有成本效益。在未来的研究工作中，可将本章提出的框架模型运用到乘性错误设定及多周期订货策略的情况。

## 参考文献


Beck A. 2003 How can rfid help to reduce shrinkage. Technical report, University of Leicester

Bensoussan A., Cakanyildirim M., Sethi S.P. 2005 Partially observed inventory systems: the case of zero balance walk. Technical report, School of Management, University of Texas a Dallas

Bernard A. 1985 Cycle counting: the missing link. Prod inventory manage, 25(4):27–40

Buker D.W. 1984 Inventory accuracy. Inventory management reprints, The American Production and Inventory Control Society, pp 221–223

Çamdereli A. Z. Swaminathan J.M. (2009) Coordination of a supply chain under misplaced inventory. Technical report, Kenan-Flagler Business School

Chappell G., Durdan D., Gilbert G., Ginsburg L., Smith J., Tobolski J. 2003 Auto-id in the box: the value of auto-id technology in retail stores. Auto-ID Center. http://www.autoidlabs.org/single-view/dir/article/6/143/page.html. Accessed 24 June 2009

Chopra V. 1986 How to set up an effective inventory accuracy program. 29th Annual APICS International Conference Proceedings, Alexandria, VA, USA

Choy K.L., Henry W.L.C, Kwok S.K. , Stuart C.K.S., Chow, K.H., Lee, W.B. 2007 Using radio frequency identification technology in distribution management: a case study on third-party logistics. Int J Manuf Technol Manage, 10:19–40

DeHoratius N. Raman A. 2004 Inventory record inaccuracy: an empirical analysis. Technical report, Graduate School of Business, University of Chicago, Working paper, Graduate School of Business, University of Chicago

Ernst R., Guerrero J.L., Roshwalb A. 1984 A quality control approach for monitoring inventory stock levels. J. Opl Res. Soc., 44:1115–1127

Fleisch E. Tellkamp C. 2005 Inventory inaccuracy and supply chain performance: a simulation study of a retail supply chain. Int J Prod Econ 95:373–385

Gaukler G., Seifert R.W., Hausman W.H. 2007 Item-level rfid in the retail supply chain. Prod Oper Manage 16:65–76, Working Paper, Stanford University, Stanford, USA

Hardgrave B., Riemenschneider, C.K., Armstrong D.J. 2008 Making the business case for RFID. In: Haasis H-D, Kreowski H-J, Scholz-Reiter B (eds) Dynamics in logistics Springer, Berlin Heidelber

Heese, H. 2007 Inventory record inaccuracy, double marginalization and rfid adoption. Prod Oper Manage 16:542–553

Hollinger R.C. Davis J.L. 2001 National Retail Security Survey. Department of sociology and the center for studies in criminology and law, University of Florida. http://diogenesllc.com/NRSS_2001.pdf. Accessed 24 June 2009

Holmqvist M. Stefansson G. 2006 Smart goods' and mobile rfid: a case with innovation from volvo. J Bus Logist, 27:251–272

Iglehart D., Morey R.C. 1972 Inventory systems with imperfect asset information. Manage Sci, 18(8):B388–B394

Ilic A., Schuster E.W., Staake T., Fleisch E. 2009 Sensors in retailing: reducing the quality uncertainty of perishable goods. Technical report, ETH Zurich

Inderfurth K. 2004 Analytical solution for a single-period production-inventory problem with uniformly distributed yield and demand. Central Eur J Oper Res, 12(2):117–127

Jarugumilli S., Grasman S.E. 2007 Rfid-enabled inventory routing problems. Int j Manuf Technol Manage, 10:92–105

Jim Wu, Y.-C. Chen J.-X. 2007 Rfid application in a cvs distribution centre in taiwan: a simulation study.' Int J Manuf Technol Manage, 1:121–136

Kök A. G. Shang K.H. 2007 Replenishment and inspection policies for systems with inventory record inaccuracy. Manuf Serv Operat Manage, 9:185–205

Kang Y. Gershwin S.B. 2004 Information inaccuracy in inventory systems - stock loss and stockout. IIE Trans, 37:843–859

Ketzenberg M.E. M. Ferguson (2006) Managing slow moving perishables in the grocery industry. Technical report, College of Business Colorado State University and The College of Management Georgia Institute of Technology, June

Klein R. 2007 Can RFID deliver the goods?- the manufacturer's visibility into supply and demand. Technical report, Anderson Group. http://www.aberdeen.com/Aberdeen-Library/3758/RA_RFIDMFG_3758.aspx. Accessed 24 June 2009

Lightburn A. 2002 Unsaleables Benchmark Report. Joint industry unsaleables steering committee, food distributors international, food marketing institute and grocery manufacturers of America

Martin W., Goodrich S. 1987 Minimizing sample size for given accuracy in cycle counting. Prod inventory manage, 28

Mason M., Langford S., Supple J., Spears M., Lee R., Dubash J., Roth L., Subirana B., Sarma S., Ferguson C. 2006 Electronic proof of delivery. Technical report, EPCglobal. http://www.epcglobalinc.org/home/. Accessed 24 June 2009

Pergamalis D. 2002 Measurement and checking of the stock accuracy. Article in www.optimum.gr (www.optimum.gr/Knowledge_Center/articles/)

Raman A., DeHoratius N., Ton Z 2001 Execution : the missing link in retail operations. Calif Manage Rev, 43:136–152.

Rekik Y. 2006 The Impact of the RFID Technology in Improving Performance of Inventory Systems subject to Inaccuracies. PhD thesis, Ecole Centrale Paris

Rekik Y., Jemai Z., Sahin E., Dallery Y. 2007 Inventory inaccuracy in the retail supply chain: Coordination versus rfid technology. OR Spectr, 29:597–626

Rekik Y., Sahin E., Dallery Y. 2007 A comprehensive analysis of the newsvendor model with unreliable supply. OR Spect, 29:207–233

Rekik Y., Sahin E., Dallery Y. 2009 Inventory inaccuracy in retail stores due to theft: an analysis of the benefits of rfid. Int J Prod Econ, 118:189–198

Rekik Y., Sahin E., Dallery Y. 2008 Analysis of the impact of the rfid technology on reducing product misplacement errors at retail stores. Int J of Prod Econ, 112:264–278

Sahin E. 2004 A qualitative and quantitative analysis of the impact of Auto ID technology on the performance of supply chains. PhD thesis, Ecole Centrale Paris

Supermarket. 2001 Supermarket Shrink Survey. National Supermarket Research Group. http://www.docstoc.com/docs/19781149/Supermarket-Shrink-Report. Accessed 24 June

Schuster E.W., Scharfeld T.A., Kar P., Brock D.L., Allen S.J. 2004 The prospects for improving erp data quality using auto-id. Cutter IT Journal: In the Pursuit of Quality. http://www.cutter.com/itjournal/fulltext/2004/09/index.html. Accessed 24 June 2009

Ton Z. Raman A. 2004 The effect of product variety and inventory levels on misplaced products at retail stores: a longitudinal study. Technical report, Harvard Business School, June

Yano C.A. Lee H.L. 1995 Lot sizing with random yields: a review. Oper Res, 43:311–334

Young J.B. 1986 The limits of cycle counting. 29th Annual APICS international conference proceedings

## 关于本书

本书包含5个部分。第1部分阐述了RFID技术的未来发展趋势，并系统概述了在此过程中不容忽视的潜在保密性和安全性问题。其余4个部分分别对RFID的数据管理、全球RFID信息架构及系统、创新的RFID应用以及相关的商业问题进行了探讨。

为中华崛起传播智慧

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037

电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

策划编辑◎闾洪庆

# 国际视野　科技前沿

## 国际信息工程先进技术译丛

《物联网RFID多领域应用解决方案》
《车载系统和安全的数字信号处理》
《嵌入式系统设计 —— 嵌入式信息物理系统基础》（原书第2版）
《纳米封装 —— 纳米技术与电子封装》
《内容分发网络》
《全面的功能验证：完整的工业流程》
《无线Mesh网络架构与协议》
《UMTS蜂窝系统的QoS与QoE管理》
《半导体制造与过程控制基础》
《WCDWA原理与开发设计》
《下一代移动系统：3G/B3G》
《IMS:IP多媒体概念和服务》（原书第2版）
《下一代无线系统与网络》
《深入浅出UMTS无线网络建模、
《规划与自动优化：理论与实践》
《HSDPA/HSUPA技术与系统设计——第三代移动
《通信系统宽带无线接入》
《无线传感器及元器件：网络、设计与应用》
《印制电路板——设计、制造、装配与测试》
《IPTV与网络视频：拓展广播电视的应用范围》
《多电压CMOS电路设计》
《微电子技术原理、设计与应用》
《蜂窝网络高级规划与优化2G/2.5G/3G/…向4G的演进》
《基于蜂窝系统的IMS——融合电信领域的VoIP演进》
《无线网络中的合作原理与应用》
《电生理学方法与仪器入门》
《移动电视：DVB-H、DMB、3G系统和富媒体应用》
《环境网络：支持下一代无线业务的多域协同网络》
《基于射频工程的UMTS空中接口设计与网络运行》
《未来UMTS的体系结构与业务平台：全IP的3G CDMA网络》
《UMTS-HSDPA系统的TCP性能》
《宽带无线通信中的空时编码》
《数字图像处理》（原书第4版）
《基于4G系统的移动服务技术》




上架指导　工业技术／物联网


ISBN 978-7-111-43935-6　定价：89.00元